

Universidad
Autónoma
Metropolitana

Casa abierta al tiempo



DIVISION DE CIENCIAS Y ARTES PARA EL DISEÑO
Especialización, Maestría y Doctorado en Diseño

SISTEMA DE TRANSPORTE VERTICAL DE LUZ NATURAL: “LUMIDUCTOS”

SOLUCION PASIVA PARA EL APROVECHAMIENTO DE LUZ NATURAL
EN ESPACIOS PROFUNDOS O CON OBSTRUCCIONES

María Alejandra Castillero Uribe

Tesis para optar por el grado de Maestría en Diseño
Línea de Investigación: Arquitectura Bioclimática

Miembros de Jurado:

Dr. en Arq. Anibal Figueroa Castrejón.
Director de Tesis

Dr. en Arq. Víctor A. Fuentes Freixenet.
Dr. en Arq. José Roberto García Chávez.
Dr. en Arq. José Diego Morales Ramírez.
Mtro. en C. Hugo Eduardo Solís Correa.

Ciudad de México.
Enero 2011

SISTEMA DE TRANSPORTE VERTICAL DE LUZ NATURAL: “LUMIDUCTOS”

SOLUCION PASIVA PARA EL APROVECHAMIENTO DE LUZ NATURAL
EN ESPACIOS PROFUNDOS O CON OBSTRUCCIONES.

“ (...) El Sol es la gran fuente de iluminación
de nuestra vida. Debería utilizarse como tal en el
diseño de cada casa. (...) ”

F.L. Wright

RESUMEN

El ahorro de energía es una tarea constante y primordial dentro de muchos sectores del quehacer humano; entre ellos y de manera muy importante es la construcción de espacios arquitectónicos. El diseño y construcción de edificios, tienen que estar resueltos bajo la premisa de ahorro energético y la utilización de energías renovables. Estos ahorros se pueden lograr con la reducción del consumo de energía no renovable utilizada en los sistemas de calefacción, ventilación y luz artificial. El diseño de edificios tomando en cuenta la radiación solar el número de horas de insolación y la cantidad de luminancia de la bóveda celeste, dan la posibilidad de vivir en espacios energéticamente eficientes.

El dispendio energético en electricidad para resolver la iluminación dentro de los edificios, es un problema técnico muy importante. Tener la capacidad física y creativa de solución para introducir luz natural a las partes internas de las construcciones, seguramente nos llevará a bajar el consumo de electricidad.

Las soluciones técnicas desarrolladas a través de la historia de la arquitectura para iluminar y tener un control de los rayos solares en las envolventes de los edificios, han tomado forma en un amplio rango de posibilidades. Es importante hacer notar que se han obtenido varias soluciones muy interesantes con respecto al aprovechamiento de la luz solar; algunas de éstas se han comercializado y sus tecnologías están en constante evolución, sin embargo, sólo en éstas últimas décadas se ha empezado a estudiar el potencial de algunas estrategias de diseño y productos específicos.

Para adquirir conciencia de las ventajas de utilizar la luz natural como una fuente de energía significativa, y dar un panorama general de los sistemas de iluminación natural existentes en la actualidad, es necesario ubicarlos. Aunque el desarrollo de los diferentes sistemas de iluminación natural ha sido realizado casi en su totalidad por ingenieros y físicos, es de gran importancia la integración a éste conocimiento de diseñadores y arquitectos para intervenir en los procesos de diseño dando como resultado un mejor control energético.

Los Sistemas de Transporte Vertical de Luz Natural: “Lumiductos” dentro de las soluciones para iluminar espacios internos en los edificios, resulta muy interesante su estudio y evaluación ya que el desarrollo tecnológico de éstos tiene muy pocos años y su uso actualmente aún es limitado. Los “Lumiductos” están basados en los principios de transporte de luz por medio de su superficie interior altamente reflejante. La ventaja de este sistema está en la posibilidad de una iluminación natural dinámica en las partes internas de un edificio y un ahorro de energía eléctrica importante al ser sustitutos totales o en parte de la iluminación artificial. La evaluación de la iluminación natural en interiores tomando como referencia los “Lumiductos” fue realizada en una zona de clima templado y en días con diferente tipo de cielo.

ABSTRACT

Energy saving is a constant and fundamental task within many sectors of the everyday human life; one of them is the construction of architectonic spaces. Buildings must be design and constructed under energy saving and sustainable principles. These savings can be obtained with a reduction in the no renewable energy in the heating systems, ventilation, and artificial light. The design of a building taking into account solar radiation, amount of sunshine, and the amount of luminance of the firmament give us the possibility of living in spaces energetically efficient.

The waste of energy in form of electricity to illuminate spaces inside the buildings is an important technical problem. Having the physical and creative solutions to introduce natural light inside buildings can reduce the electricity consumption. The technical solutions to illuminate and having control over the rays developed through out the history of architecture. Now, we have a whole range of different possibilities and it is important to emphasize that many of these solutions taking advantage of sunlight, have been commercialized and some of them developed and modified. However, only in the last decades researchers have been studying the potential of some design strategies and some specific products. To be aware of the advantages of using natural light as a source of energy and to give a general view of the lightning systems we need to know them. Engineers and physics have developed most of the natural illumination systems. The integration of these technologies to the designers and architects' knowledge can provide better energetic controls and solutions.

The vertical transport natural light system "Lumiducts" within the illuminating solutions is a very interesting field with few years of studies and its use is still very limited. The "Lumiducts" are based in the principle of transporting light through the interior of a highly reflective surface. The advantage of this system is that it provides dynamic natural light in the interior of buildings and at the same time it saves electric energy using them as total or partial source of light. To evaluate the amount of natural light in the interior of a building we used a "Lumiduct" in a warm climate zone in days with different amount of sunlight.

INDICE

PÁGINA

RESUMEN.....	03
ABSTRACT.....	04
INDICE.....	05
INDICE DE TABLAS.....	09
INDICE DE FIGURAS.....	09
INDICE DE GRAFICAS.....	10
CAPITULO 1. ASPECTOS METODOLOGICOS.....	11
1. INTRODUCCION	12
2. METODOLOGIA.....	12
2.1. OBJETIVO GENERAL	13
2.2. OBJETIVO ESPECIFICO.....	14
3. MARCO TEORICO	14
4. HIPOTESIS DE INVESTIGACION.....	15
CAPITULO 2. LUZ NATURAL Y AHORRO ENERGETICO.....	16
2.1. INTRODUCCION.....	17
2.2. CONTEXTO ENERGETICO.....	17
2.2.1. INTERNACIONAL.....	17
2.2.2. ENERGÍA ELECTRICA EN MEXICO	22
2.2.3. NUEVAS TENDENCIAS.....	26
2.2.4. ENERGIAS RENOVABLES.....	30
2.2.5. NUEVA ACTITUD.....	31
CAPITULO 3. LUZ NATURAL E ILUMINACION INTERIOR.....	34
3.1. ILUMINACION NATURAL.....	35
3.1.1. VENTAJAS DE LA LUZ NATURAL.....	35
3.1.2. EFECTOS EN LA SALUD.....	36
3.1.3. OBJETIVOS DE LA ILUMINACION NATURAL.....	38

3.2. FENOMENOS FISICOS DE LUZ NATURAL APLICADOS A LA	
ARQUITECTURA.....	39
3.2.1. REFLEXION.....	39
3.2.2. REFRACCION.....	39
3.2.3. DIFRACCIÓN.....	40
3.2.4. INTERFERENCIA.....	40
3.3. FUENTES DE LUZ NATURAL.....	41
3.3.1. DIRECTA.....	42
3.3.2. INDIRECTA.....	42
3.3.3. DIFUSA.....	42
3.4. TIPOS DE CIELO.....	43
3.4.1. CIELO CUBIERTO.....	43
3.4.2. CIELO PARCIALMENTE DESPEJADO.....	43
3.4.3. CIELO CLARO.....	43
3.5. OBTENCION DE DATOS DE LUZ NATURAL.....	44
3.5.1. MODELOS DE VALIDEZ LOCAL DE ILUMINANCIA EXTERIOR.....	44
3.5.2. PROGRAMA INTERNACIONAL DE MEDICIONES DE ILUMINACION NATURAL.....	45
3.5.3. MODELOS DE PREDICCION GENERALES.....	45
3.6. TRATAMIENTO CUANTITATIVO DE LA LUZ NATURAL.....	46
3.6.1. METODOS.....	46
3.6.2. FACTOR DE LUZ NATURAL.....	46
3.6.3. MEDICIONES EN MODELOS A ESCALA.....	48
3.6.4. MODELOS MATEMÁTICOS.....	48
 CAPITULO 4. SISTEMAS DE ILUMINACION NATURAL.....	 50
4.1. SISTEMAS DE ILUMINACION NATURAL.....	52
4.1.1. SISTEMAS Y DESARROLLOS RECIENTES.....	52
4.2. CLASIFICACION DE LOS SISTEMAS DE LUZ NATURAL.....	52
4.2.1. DE ACUERDO A SU UBICACION.....	52
4.2.2. CARACTERISTICAS SEGUN SU FUNCION.....	53
4.2.3. CARACTERISTICAS SEGUN SU RENDIMIENTO.....	53
4.2.4. CARACTERISTICAS GENERALES.....	54
4.3. AGRUPACION DE SISTEMAS DE ILUMINACION NATURAL.....	55
4.3.1. POR FAMILIAS EN ORDEN ALFABÉTICO.....	55
4.3.2. FAMILIAS DEL SISTEMA AL 100% DE PENETRACION PROFUNDA DE LA LUZ.....	59
4.3.3. FAMILIAS DEL SISTEMA AL 100% DE REDUCCION DE DESLUMBRAMIENTOS.....	59
4.3.4. FAMILIAS DEL SISTEMA AL 100% DE CONTROL DE GANANCIAS SOLARES.....	60
4.3.5. FAMILIAS DEL SISTEMA AL 100% DE INCREMENTO DE PRIVACIDAD.....	60
4.3.6. FAMILIAS DEL SISTEMA AL 50% DE PENETRACION PROFUNDA Y 50% DE	

REDUCCION DE DESLUMBRAMIENTO.....	61
4.3.7. FAMILIAS DEL SISTEMA AL 50% DE PENETRACION PROFUNDA Y 50% DE CONTROL DE GANANCIAS SOLARES.....	61
4.3.8. FAMILIAS DEL SISTEMA AL 50% DE CONTROL DE GANANCIAS SOLARES Y 50% DE REDUCCION DE DESLUMBRAMIENTOS.....	61
4.3.9. FAMILIAS DE SISTEMAS AL 33% DE PENETRACION PROFUNDA DE LUZ, 33% DE CONTROL DE GANANCIAS SOLARES Y 33% DE REDUCCION DE DESLUMBRAMIENTO.....	61
4.3.10. FAMILIAS DE SISTEMAS AL 33 % DE INCREMENTO A LA PRIVACIDAD, 33% DE CONTROL DE GANANCIAS SOLARES Y 33% DE REDUCCION DE DESLUMBRAMIENTOS.....	62
4.3.11. FAMILIAS DE SISTEMAS AL 25% DE PENETRACION PROFUNDA DE LUZ, 25% DE CONTROL DE GANANCIAS SOLARES, 25% DE REDUCCION DE DESLUMBRAMIENTOS Y 25% DE INCREMENTO DE PRIVACIDAD.....	63
4.4.-DIFERENTES SISTEMAS DE TRANSPORTE DE LUZ NATURAL.	64
4.2.1 TIPOS DE SISTEMAS.	64
 CAPITULO 5. SISTEMA DE TRANSPORTE DE LUZ “LUMIDUCTOS”	65
5.1. ANTECEDENTES.....	67
5.2. CARACTERISTICAS.....	68
5.2.1. DESCRIPCION DEL SISTEMA.....	68
5.2.2. COMPONENTES DEL SISTEMA.....	69
5.2.3. MATERIALES.....	70
5.2.4. SUBSISTEMAS Y COMPONENTES DE TRANSPORTADORES DE LUZ NATURAL.....	70
5.3. COMPARACION ENTRE DOMOS Y LUMIDUCTOS.....	73
5.4. “LUMIDUCTOS SOLATUBE”	74
5.4.1. PRODUCTOS DESARROLLADOS.....	74
5.4.2. BENEFICIOS DE UTILIZAR LOS “LUMIDUCTOS”	75
5.5. EFICIENCIA DE LOS “LUMIDUCTOS”	76
5.6 EJEMPLOS DE APLICACION.....	79
5.6.1. PROTOTIPOS Y DESARROLLO EXPERIMENTAL DE NUEVAS SOLUCIONES.....	79
5.6.2. NUEVOS PROYECTOS SUSTENTABLES.....	80
5.6.3. OBRAS NUEVAS.....	82
5.6.4. REMODELACIONES.....	83
 CAPITULO 6. EVALUACION DE LOS “LUMIDUCTOS”	84
6.1. ESPECIFICACIONES DEL “LUMIDUCTO SOLATUBE”	85
6.1.1. MEDIDAS PRINCIPALES Y COMPONENTES.....	85
6.1.2. VENTAJAS DEL SISTEMA.....	86

6.1.3. ESPECIFICACIONES.....	87
6.1.4. VALORES PRESENTADOS POR "IES" (ILUMINATING ENGINEERING SOCIETY).....	89
6.2 ANALISIS CLIMATICO.....	91
6.2.1 BIOCLIMA.....	91
6.2.2. PARAMETROS.....	91
6.2.3. TEMPERATURA.....	92
6.2.4. HUMEDAD.....	92
6.2.5. PRECIPITACION.....	93
6.2.6. NUBOSIDAD.....	94
6.2.7. INSOLACION.....	96
6.2.8. RADIACION SOLAR.....	97
6.2.9. CONFORT VISUAL.....	100
6.3. MODELO EXPERIMENTADO.....	100
6.3.1. PRESENTACION DEL "CASO DE ESTUDIO".....	105
6.3.2. ANALISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS.....	106
6.4. CONCLUSIONES CASO DE ESTUDIO.....	112
 CAPITULO 7. CONCLUSIONES.....	 113
 BIBLIOGRAFIA.....	 98
 INDICE DE GRAFICAS Y FIGURAS.....	 118
 REFERENCIAS DE INTERNET.....	 121
 ANEXO 1. MEDICIONES	
ANEXO 2. NORMALES CLIMATOLOGICAS 2001-2010 ESTACION TACUBAYA	
ANEXO 3. NORMALES HORARIAS ESTACION MADIN.	

INDICE TABLAS

Tabla 2.1. Consumo de Energía del Sector Comercial en Estados Unidos,.....	18
Tabla 2.2. Consumo de Energía del Sector Comercial en Estados Unidos,.....	21
Tabla 2.3. Emisiones de CO2 equivalente a generación eléctrica	29
Tabla 2.4. Capacidad de generación eléctrica por fuente primaria.....	30
Tabla 4.1. Transportadores de Luz Natural con movimiento.....	65
Tabla 4.2. Transportadores de luz natural pasivos.....	66
Tabla 5.1. Colectores de Luz Natural.....	74
Tabla 5.2. Transportadores de Luz Natural.....	75
Tabla 5.3. Transportadores de Luz Natural en “Lumiductos”.....	76
Tabla 5.4. Comparación de eficiencia entre luz artificial y la emitida por el Luminoducto.....	81
Tabla 6.1. Parámetros. climáticos.....	94
Tabla 6.2. Irradiación global media en la República Mexicana.....	102
Tabla 6.5. Niveles de iluminación recomendados por el Reglamento de construcciones.....	105
Tabla 6.6. Niveles de iluminación mínimos, recomendados y óptimos.....	106

INDICE FIGURAS

Fig. 4.1. Esquema de Lumiductos.....	66
Fig. 4.2. Diagrama de categorización de sistemas de iluminación natural.....	67
Fig. 5.1 Prototipo desarrollado en Argentina	82
Fig. 5.2. Fugee Harbour Taiwan.....	83
Fig. 5.3. Esquemas de Fugee Harbour Taiwan.....	84
Fig. 5.4. Esquemas de Fugee Harbour Taiwan.....	84
Fig. 5.5. Prototipo de Fugee Harbour Taiwan.....	85
Fig. 5.6. Supermercado en Cadiz.....	85
Fig. 5.7. Oficinas Corporativas en San Juan del Río, Qro.....	86
Fig. 5.8. Oficinas corporativas en Monterrey, Nuevo León.....	86
Fig. 5.9. Tienda de ropa en Zapopan, Jalisco.....	86
Fig. 6.1. Esquema Solatube.....	89
Fig. 6.2. Esquema ducto Solatube.....	90
Fig. 6.3. Esquema colector.....	91

Fig. 6.4. Esquema de captación de luz solar.....	92
Fig. 6.5. Entorno del caso de estudio.....	95
Fig. 6.6. Radiación solar diaria promedio anual.....	101
Fig. 6.7. Planta del caso en estudio.....	107
Fig. 6.8. Evaluación de aportación lumínica.....	108
Fig. 6.9. Proceso de medición.....	108
Fig. 6.10. Puntos de medición colocados en plafón.....	108
Fig. 6.11. Proceso de medición.....	108
Fig. 6.12. Luxómetro.....	109
Fig. 6.13. Desayunador.....	109
Fig. 6.14. Localización de puntos de medición.....	110
Fig. 6.15. Puntos de toma de fotografías.....	111
Fig. 6.16. Mapa de isoluxes.....	117
6.17. Valores obtenidos en luxes.....	118

INDICE GRÁFICAS

Gráfica 6.1. Temperatura media mensual.....	96
Gráfica 6.2. Humedad relativa media.....	96
Gráfica 6.3. Oscilación de temperatura.....	97
Gráfica 6.4. Número de Días con Tormenta Eléctrica.....	97
Gráfica 6.5. Número de Días con lluvia apreciable.....	98
Gráfica 6.6. Número de Días nublados.....	98
Gráfica 6.7. Número de Días con Niebla.....	99
Gráfica 6.8. Cantidad media de nubes.....	99
Gráfica 6.9. Insolación total.....	100
Gráfica 6.10. Número de Días despejados.....	100
Gráfica 6.11. Radiación solar el 9 de abril del 2010.....	112
Gráfica 6.12. Mediciones del 9 de abril a las 9:00hrs.....	113
Gráfica 6.13. Mediciones del 9 de abril a las 16:00 hrs.....	113
Gráfica 6.14. Mediciones del 12 de abril a las 10:00 hrs.....	114
Gráfica 6.15. Radiación solar 14 de abril del 2010.....	114
Gráfica 6.16. Radiación solar 17 de mayo del 2010.....	114
Gráfica 6.17. Mediciones del 17 de mayo a las 10:00 hrs.....	115
Gráfica 6.18. Mediciones del 17 de mayo a las 14:00 hrs.....	115
Gráfica 6.19. Mediciones del 7 de noviembre a las 10:00 hrs.....	116
Gráfica 6.20. Mediciones del 7 de noviembre a las 15:30 hrs.....	116

CAPITULO 1

ASPECTOS METODOLOGICOS

1.1-INTRODUCCION

1.2.-METODOLOGIA

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

1.2.2. OBJETIVO ESPECÍFICO

1.3.-MARCO TEORICO

1.4. HIPOTESIS DE INVESTIGACION

1.1. INTRODUCCION

La Arquitectura evoluciona para resolver problemas cada vez más complejos, y de manera más confiable y ambientalmente responsable. Se ha demostrado que simultáneamente es capaz de influir en la formación de pensamiento durante procesos directos de interferencia¹, y que condicionan el “pensamiento manifiesto” en una retroalimentación positiva². Si se suma que tanto el uso del color como la cantidad de luz pueden influir en el estado anímico de los usuarios, la arquitectura tiene hoy demandas de percepción que van más allá de lo funcional y simbólico que le era inherente.

A pesar de su apariencia inasible, la luz es el fenómeno capaz por sí solo de generar aquella transformación sensorial que puede poner en vigencia cualquier espacio. “Los físicos la han abordado con un enfoque científico, los pensadores religiosos en forma simbólica, los artistas y técnicos como algo práctico; pero todos hablan de aquello cuya naturaleza y sentido ha sido objeto de atención y veneración humanas durante siglos³

A lo largo de la historia los cambios en los sistemas estructurales respondían al interés por aumentar el ingreso de luz natural a los espacios. En el siglo XIX el desarrollo de la tecnología constructiva en hierro y la disponibilidad del vidrio permitieron edificios con grandes fachadas vidriadas. Con el desarrollo de las lámparas de descarga, nada se investigó sobre la iluminación natural entre los años 50 y 60. Al comienzo de los 70's por razones energéticas, se “redescubrió” la iluminación natural para la iluminación en edificios. Actualmente, con los problemas de escasez de combustible, polución ambiental y necesidades de ahorro energético, se ha visto la necesidad de retomar y ahondar en la iluminación natural. El hombre promedio realiza el 80% de su trabajo en horas de luz natural.

1.2.METODOLOGIA⁴

El potencial de ésta investigación está dado en el planteamiento de una opción de iluminación natural poco conocida y por lo tanto poco explorada en su uso. En el campo energético tendrá un impacto positivo al hacer la transferencia a energías renovables; en el económico al bajar la factura del consumo eléctrico, en el humano, al transformar espacios “perdidos” o “mal habitados” en zonas de confort; y en

¹ Medina, Valeria.(2008) El fenómeno de ponderar tamaños y distanciamientos. Rol en las habilidades lógicas de situar, clasificar y seriar. Seminario de percepción y significación , F:A:U: de Chile

² Letelier, Sofía. (2007) Lectura e Ideación de la escala y “escalaje” en arquitectura. Tesis doctoral UPM, Madrid,

³ Arthur Zajonc, (1993) Catching the Light, The Entwined History of Light and Mind,

⁴ Hernández Sampieri, R. Fernández, C. Baptista, P, (1994), Metodología de la Investigación, Mc Graw Hill,Mex. D.F.

cuánto a la salud y percepción ambiental a crear espacios en dónde el hombre pueda vivir con una mejor calidad de vida.

Aunado a lo anterior, la exposición de manera gráfica y sencilla de todos los sistemas de iluminación natural existentes al día de hoy podrá ser de gran utilidad a las personas dedicadas al diseño y construcción de espacios arquitectónicos a la hora de decidir sus estrategias de solución en cuanto al aprovechamiento de la luz natural. El Desarrollo Metodológico y los alcances del presente trabajo se dividen en procesos generales y particulares, y son los siguientes:

1.2.1. OBJETIVO GENERAL.

El óptimo aprovechamiento de la energía es una de las actitudes más importantes a seguir en todos los ámbitos del quehacer del hombre; y entre ellos el que nos ocupa es el diseño arquitectónico. Por esta razón, se pretende evaluar una de las soluciones de captación de luz natural, mediante la cual y por medio de ideas que enriquezcan la percepción y la gratificación estética de los espacios interiores, se pueda lograr la conciliación entre la sustentabilidad, la eficiencia, el bajo costo y los altos niveles de confort.

Uno de los objetivos generales será relacionar la situación energética actual, en especial el consumo eléctrico tanto a nivel mundial como nacional; con la importancia de rescatar, investigar y utilizar sistemas de iluminación natural; sobretodo en espacios internos o con obstrucciones, ya que hasta ahora estos espacios se descartan de antemano para ser iluminados naturalmente, es decir tratar de transmitir una nueva conciencia ante las ventajas de “vivir en el interior de los espacios con luz natural”.

Para valorar la importancia de la utilización de la luz natural en interiores, se propone hacer un análisis de ésta desde el punto de vista de la percepción, de la salud, de las fuentes de aprovechamiento, de cómo obtener los datos y objetivos relevantes necesarios para su aplicación en el diseño.

Ubicar y agrupar todos los sistemas de solución para aportar luz natural a los edificios dará una visión completa de la gran cantidad de oportunidades que se tienen actualmente. A partir de ese conocimiento, esta investigación pretende demostrar los beneficios que se pueden obtener al utilizar los Sistemas Verticales de Transporte de Luz Natural “Lumiductos”, en espacios interiores con problemas de iluminación y que por ello son susceptibles a altos consumos de electricidad.

Mediante el estudio y evaluación de uno de los sistemas de iluminación natural los “Lumiductos”, se pretende lograr que construcciones con problemas de deficiencia lumínico-espaciales, puedan tener la posibilidad con propuestas creativas de habitar esos espacios con mayor confort y menos gasto energético.

Estas propuestas consisten en sistemas específicos de desvío y reflexión para la llegada y repartición de la luz, que sería imposible si las viéramos solucionadas con sistemas tradicionales como lo son las ventanas. Así se puede dar una nueva dimensión espacial a los espacios interiores. La innovación está en las propuestas de diseño, el uso de materiales y tecnologías existentes.

1.2.2. OBJETIVO ESPECIFICO

El objetivo específico de esta investigación es la valoración del sistema pasivo de iluminación natural “Lumiducto” desde el punto de vista de su desempeño y eficiencia lumínica para ser utilizado en el Área Metropolitana del Valle de México.

Esta investigación ayudará no sólo a tomar conciencia de la gran importancia y la inminente necesidad de utilizar estrategias de diseño dirigidas a resolver los espacios arquitectónicos con la mayor cantidad de soluciones utilizando luz natural; sino que también tenemos una gran oportunidad de ampliar la eficiencia lumínica de espacios profundos, tanto en construcciones nuevas como en las ya existentes, con un resultado favorable hacia el ahorro energético por un lado, bajando por consiguiente la factura del consumo eléctrico y aumentando el grado de confort, percepción y salud por la utilización de la luz natural.

1.3. MARCO TEORICO

A partir de la detección y consulta selectiva de bibliografía y otros materiales, así como extraer y recopilar la información relevante necesaria, que será útil en el propósito de ésta investigación, disponible en distintos tipos de documentos, se construyó el marco teórico de éste documento. Es un hecho que la literatura acerca del tema de estudio no es muy abundante; y los artículos encontrados de alguna manera están poco vinculados entre sí. La metodología implementada en el presente trabajo incluye:

- Situar la realidad energética.
- Planteamiento de una nueva conciencia de la utilización de la Luz Natural mediante su estudio.
- Presentación de los sistemas de Iluminación Natural y sus interacciones.
- Estudio de las características físicas y técnicas de los “Lumiductos”

- Análisis y sistematización de la información a través de la confección de planos, tablas, gráficas y fotografías, del “Caso de Estudio”
- Evaluación de los resultados del “Caso de Estudio” y presentación de conclusiones.

1.4. HIPOTESIS DE INVESTIGACION

- Dentro del gasto energético, la energía eléctrica y en especial el gasto por iluminación es el responsable de un alto porcentaje en el consumo.
- La habitual falta de aprovechamiento de la luz natural en los edificios implica recurrir a sistemas de iluminación artificial con el consiguiente consumo energético y gasto eléctrico.
- Los sistemas de iluminación artificial no actúan como un complemento de la iluminación natural, sino como fuente principal en la iluminación de los locales
- La utilización de la Luz Natural tiene ventajas como que es provista por energía renovable, es dinámica y la percepción y visión humana está especialmente adaptada a ella y sus fluctuaciones.
- Al iluminar con Luz Natural espacios interiores se mejora el confort de los usuarios.
- La utilización de Sistemas de Transporte Vertical de Luz tiene grandes ventajas para la utilización de espacios interiores.
- Tienen diferente eficiencia lumínica de acuerdo a las condiciones del cielo, a las diferentes horas del día y a los días en el año.

CAPITULO 2

LUZ NATURAL Y AHORRO ENERGETICO

2.1. INTRODUCCION

2.2. CONTEXTO ENERGETICO

2.2.1. INTERNACIONAL

2.2.2. ENERGÍA ELÉCTRICA EN MÉXICO

2.3. NUEVAS TENDENCIAS

2.3.1. ENERGIAS RENOVABLES

2.3.2. NUEVA ACTITUD

2.1. INTRODUCCION

Con la llegada de la Revolución Industrial, el concepto de energía inició su trayectoria como un personaje de importancia preponderante en la comprensión del mundo. Los valores arquitectónicos que durante siglos se habían asignado, en dónde los órdenes, el lenguaje y los estilos definían la concepción técnica y constructiva de los espacios sufrieron una transformación progresiva que dieron como consecuencia un cambio fundamental.

2.2. CONTEXTO ENERGETICO

La crisis energética de 1973 provocó muchos cambios, entre ellos las soluciones arquitectónicas de grandes superficies de cristal como un símbolo de modernidad y progreso, se vieron altamente cuestionadas. A partir de entonces y muy lentamente, se inició una nueva actitud hacia la utilización y conservación de las fuentes de energía no renovables. Fue así como el cambio de conciencia hacia la utilización de energías renovables fue dando como resultado el nacimiento de la Arquitectura Bioclimática, Ecológica y Sostenible

En éste marco de referencia, la mala eficiencia energética del vidrio sugirió un cambio en la solución de envolventes en los edificios comerciales como un valor social y arquitectónico que la sociedad contemporánea no podía permitirse más. A pesar de que el problema del consumo energético de los edificios y sus consiguientes emisiones de gases eran realmente graves, no se pudo detener la utilización masiva del vidrio, en realidad el sueño de transparencia ha sido lo suficientemente fuerte como para promover una trayectoria imparable de proveer de vidrio los edificios sin la eficiencia energética deseada, siempre bajo los auspicios optimistas de la tecnología.

2.2.1. INTERNACIONAL

En el US Energy Information Administration / Annual Energy Review 2009, los edificios son responsables de la mayor parte del consumo total de energía en Estados Unidos (residenciales 21% y comerciales 18%, lo que implica el 39% del total del consumo energético) ⁵, En esa misma proporción el sector residencial es responsable de 1,220.1 millones métricos de toneladas de las emisiones de dióxido de carbono (20.98%) y el sector comercial de 1,075.1 millones métricos de toneladas de las emisiones de

⁵ US Dept. of Energy, Energy Information Administration/Annual Energy Review 2009. Energy Consumption by Sector Overview. EIA <http://www.eia.doe.gov/ar/pdf/aer.pdf>

dióxido de carbono (18.5%), lo que en conjunto suman el 39.49% del total de CO2 emitido en los Estados Unidos.⁶

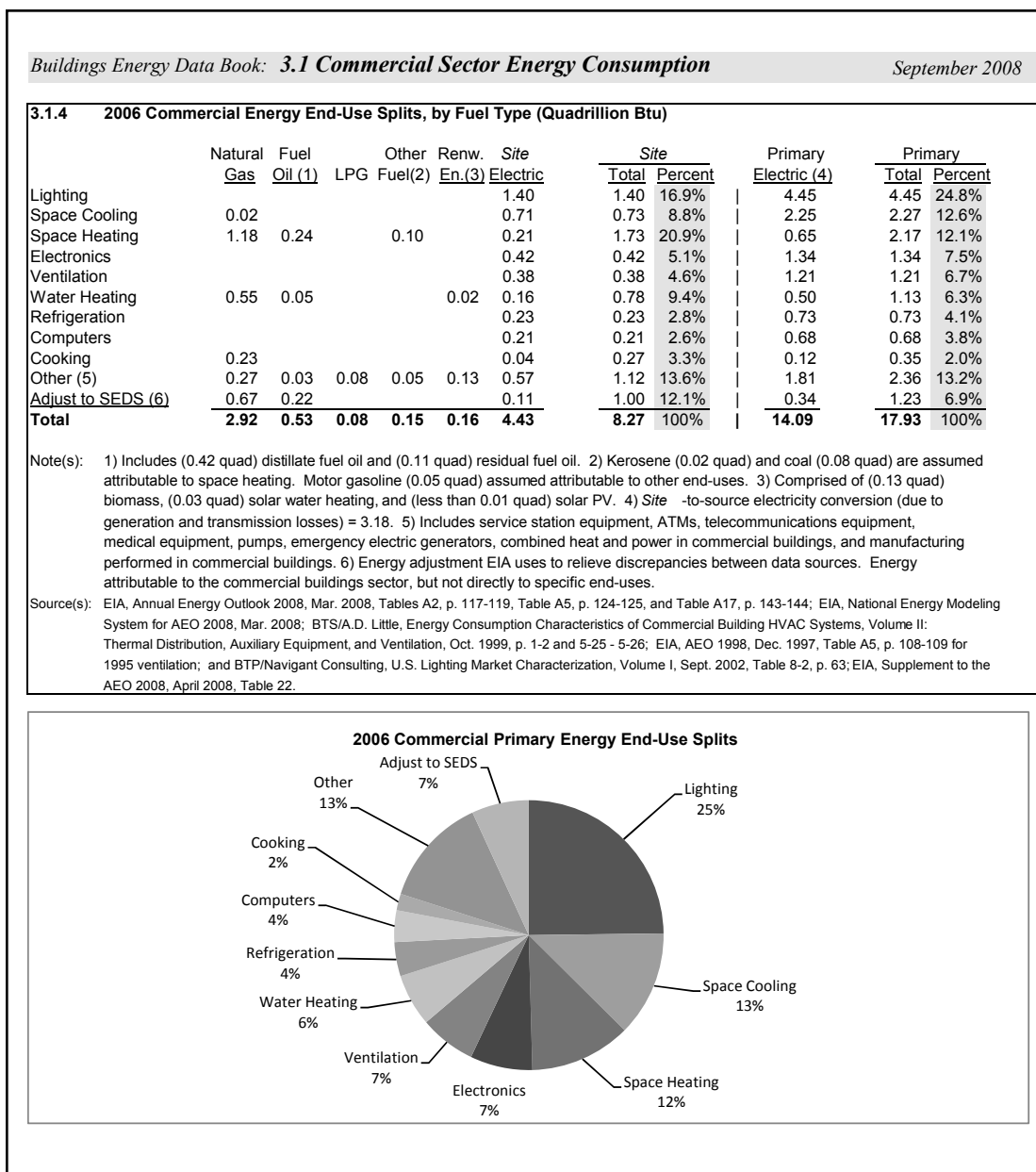
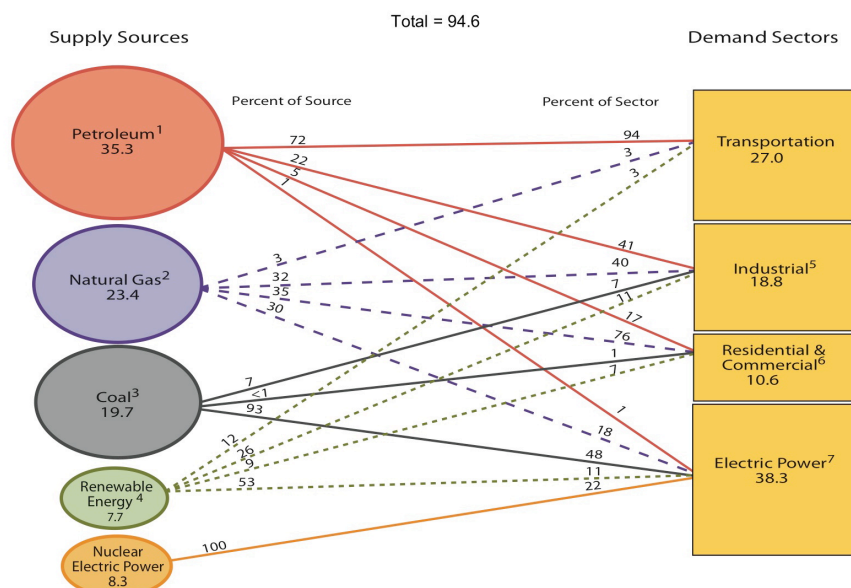


Tabla 2.1. (2008) Consumo de Energía del Sector Comercial en Estados Unidos, 2008 BUILDINGS ENERGY DATA BOOK, U.S. Department Energy, Energy Efficiency and Renewable Energy, Esta versión tiene fecha de Marzo del 2009

⁶ US Dept. of Energy, Energy Information Administration/Emission Greenhouse Gases in US 2005. Report #:DOE/EIA-0573(2008). Released Date: DECEMBER 3, 2009. Next release DATE: December 2010, <http://www.eia.doe.gov/oiaf/1605/ggrpt/carbon.html>

Estas cifras nos hacen pensar que el problema de sustentabilidad es tan actual como en 1973; así que todas las iniciativas para hacer una Arquitectura Bioclimática, deberán ser tomadas en cuenta. Sin embargo, cuando hablamos de sustentabilidad, tendemos a pensar principalmente en el aspecto térmico de los edificios. Es lógico considerar que la utilización del vidrio sea el responsable del mal desempeño energético de los edificios; pero al ver detalladamente los datos, se puede observar que de la energía consumida en los edificios comerciales entre iluminación, calefacción y enfriamiento, equivalen al 39%; de esto, en iluminación se consume el 18.8% del total del consumo energético, siendo éste porcentaje mayor que el usado en la calefacción (11.0%).⁷

Figure 2.0 Primary Energy Flow by Source and Sector, 2009
(Quadrillion Btu)



¹ Does not include biofuels that have been blended with petroleum—biofuels are included in "Renewable Energy."

² Excludes supplemental gaseous fuels.

³ Includes less than 0.1 quadrillion Btu of coal coke net exports.

⁴ Conventional hydroelectric power, geothermal, solar/PV, wind, and biomass.

⁵ Includes industrial combined-heat-and-power (CHP) and industrial electricity-only plants.

⁶ Includes commercial combined-heat-and-power (CHP) and commercial electricity-only plants.

⁷ Electricity-only and combined-heat-and-power (CHP) plants whose primary business is to sell electricity, or electricity and heat, to the public.

Note: Sum of components may not equal total due to independent rounding.

Sources: U.S. Energy Information Administration, *Annual Energy Review 2009*, Tables 1.3, 2.1b-2.1f, 10.3, and 10.4.

U.S. Energy Information Administration / Annual Energy Review 2009

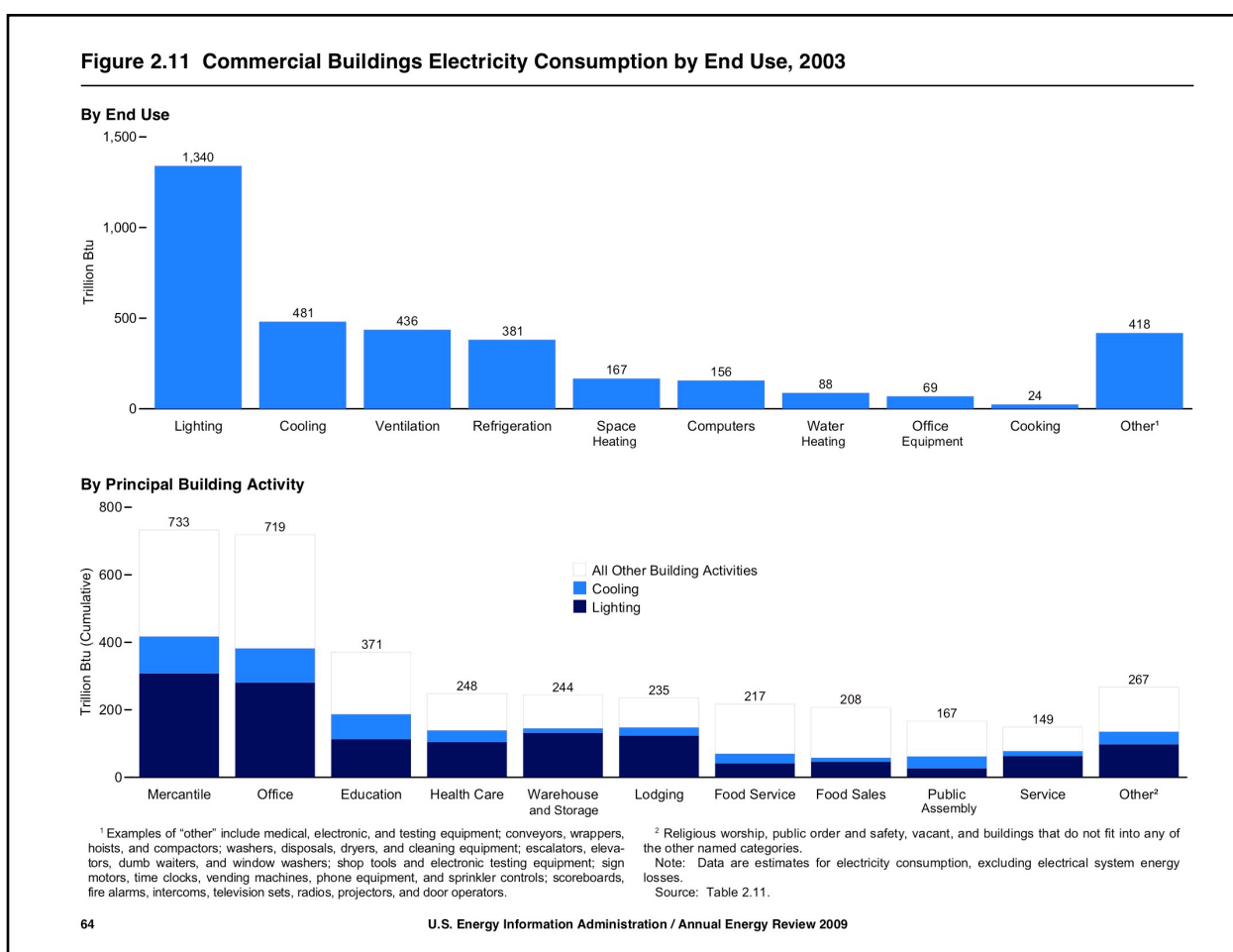
37

Gráfica 2.1. (2008) Consumo de Energía del Sector Comercial en Estados Unidos, 2008 BUILDINGS ENERGY DATA BOOK, U.S. Department Energy, Energy Efficiency and Renewable Energy, Esta versión tiene fecha de Marzo del 2009

⁷USDept. of Energy, "Buildings Energy Data Book" (Octubre 2009) <http://buildingsdatabook.ere.doe.gov/docs/1.3.3.pdf>

Como la iluminación es el mayor responsable del consumo energético en los edificios, es importante ver de qué fuente se suministra. La iluminación proviene exclusivamente de la electricidad, constituyendo el 23.67% del consumo de electricidad. En contraste; en la calefacción se usa mayormente gas natural, así que el consumo de electricidad solamente es de un 2.98% del total; y el aire acondicionado y la ventilación que funcionan con electricidad, tienen un 10.57% y 4.01% respectivamente del total del consumo eléctrico.

En la Administración de Información Energética del Departamento de Energía de Estados Unidos, en su evaluación del 2008, se informó que la electricidad es producida principalmente por cuatro fuentes; carbón (39.63%), energía nuclear (18.5%), gas natural (29.59%), e hidroeléctrica (12.33%)⁸. Estos datos



Gráfica 2.2. (2003) Consumo de Electricidad del Sector Comercial en Estados Unidos, Annual Energy Review 2009, US Energy Information Administration

⁸ Washington: U.S. Dept. of Energy, Energy Information Administration. Net Generation by Energy Source by Type of Producer, (c. 2008). Report Released: November 23, 2010. Next Release Date: November 2010 <http://www.eia.doe.gov/cneaf/electricity/epa/epat1p1.html>

los podemos apreciar como signo de alarma; ya que las emisiones de dióxido de carbono son las causantes de generar el calentamiento global y la lluvia ácida; siendo ésta la mayor desventaja para seguir utilizando el carbono como fuente principal en la generación de energía eléctrica y por lo tanto en la iluminación.

2009 COSTOS ENERGETICOS REPRESENTATIVOS

RECURSO ENERGETICO	COSTOS EN UNIDADES COMUNES DE MEDIDA	COSTO POR MILLONES/ BTU
ELECTRICIDAD	11.40 CENTAVOS /KWh/Kilowatt hora	\$33.41
GAS NATURAL	\$1,112 /therm (100,000 Btu) or \$11.12MCF (1,000 pies cúbicos)	\$11.12
NO. 2 QUEMA DE ACEITE	\$2.25 /galón	\$16.22
PROPANO	\$1.92 / galón	\$21.02
KEROSENE	\$2.11 / galón	\$15.63

Tabla2.2. 2009 Representación de costos de energía.⁹

El consumo de energía a nivel mundial aumentó 1.7% durante 2008 con respecto a los niveles de consumo registrados en 2007, al totalizar 8,428.4 Mtep. En cuanto al comportamiento por energético, los mayores crecimientos en el consumo fueron los de energía solar y eólica y carbón, con 19.8% y 12.6%, respectivamente.¹⁰

Estados Unidos fue el mayor consumidor de energía en 2008, con una participación de 18.3%, pese a que su población representó menos de 5.0% del total mundial. China, Rusia, India y Japón ocuparon la segunda, tercera, cuarta y quinta posición, respectivamente. Estos cinco países produjeron en conjunto 50.3% del PIB mundial en 2008 y consumieron 48.3% de la energía a nivel mundial. Por su parte, México

⁹Federal Register /2007, Vol 72, No.54/ Miércoles, Marzo 21, 2007 /Notices 2007 Represtativw Energy Costs. <http://www.fra.dot.gov/downloads/safety/FRA0523281>

¹⁰ Balance Nacional de Energía 2009, <http://www.sener.gob.mx/porta/Default.aspx?id=1791>

ocupó el décimo quinto lugar en el consumo de energía, lo cual representó 1.4% del total de consumo mundial en 2008.

Examinando los datos desde un punto de vista económico, la electricidad es el recurso energético más caro y el consumo en los edificios es de 65% del total de electricidad consumida en los Estados Unidos.¹¹ En 2007 el consumo mundial de energía eléctrica ascendió a 17,056 TWh, cifra 4.9% superior al valor registrado en 2006. En su mayor proporción, el crecimiento en el consumo eléctrico se registra en las economías en transición, las cuales continuarán demandando energía eléctrica a mayores tasas que en los países desarrollados. En cuanto a la capacidad instalada, las centrales termoeléctricas convencionales mantienen la mayor participación, a excepción de algunos países como Francia, donde la energía nuclear predomina, o Canadá y Brasil donde las centrales hidroeléctricas concentran la mayor participación.

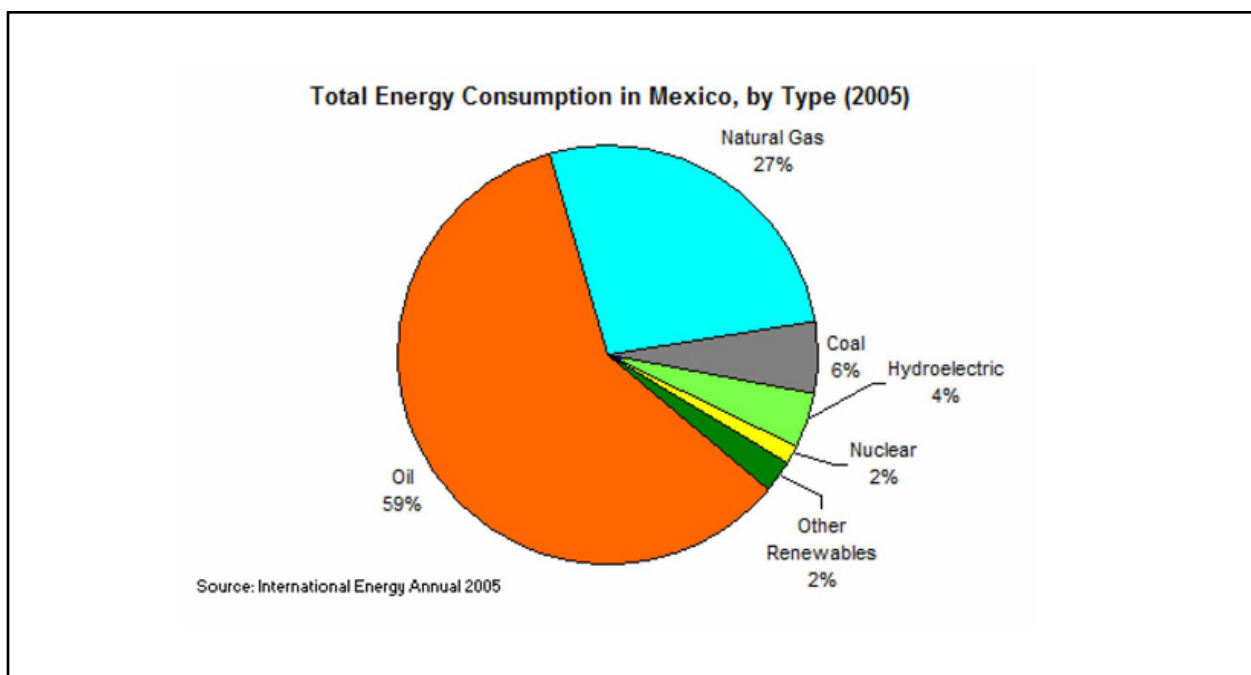
Las proyecciones internacionales indican que hacia 2025 los combustibles de mayor utilización en la generación de electricidad seguirán siendo el carbón y el gas natural, seguido éste muy de cerca por las energías renovables. En el caso del carbón, dada la menor volatilidad en sus precios y su mayor disponibilidad, se espera que aumente su utilización en diversos países, especialmente en China, India y EUA, mientras que el gas natural continuará creciendo de manera inversa al comportamiento esperado en el consumo de derivados del petróleo, cuya participación en la generación mundial de energía eléctrica seguirá disminuyendo debido a razones de sustentabilidad ambiental. Como un frente más dentro de las estrategias mundiales ante el cambio climático, países como China, India, Rusia, Francia, Japón, Finlandia, Corea del Sur, entre otros, están construyendo nueva capacidad de energía nuclear que contribuye a evitar la emisión de gases de efecto invernadero. Asimismo, en Europa y en Estados Unidos de América (EUA) se encuentra el liderazgo internacional en cuanto al impulso a las fuentes renovables como la eólica.

2.2.2. ENERGÍA ELÉCTRICA EN MEXICO.

La producción de energía en México es mayor a la demanda; no obstante que la relación entre producción y oferta interna bruta disminuyó con respecto a 2008. Se logró un aumento de 4.1% en la producción de gas natural respecto a 2008, lo que se suma a la tendencia de tasas de crecimiento positivas que se han observado desde 2004.¹²

¹¹ Federal Register/Vol.74, No 105/ Junio 3, 2009/ Notices 2009 Representative Energy Costs. <http://www.fra.dot.gov/downloads/safety/FRA0523281.pdf>

¹² Balance Nacional de Energía 2009, <http://www.sener.gob.mx/portal/Default.aspx?id=1791>



Gráfica 2.3 Consumo de Energía en México 2005. Fuente: Anuario de Energía Internacional 2005, <http://www.anes.org/anes/index.php?>¹³

En 2009 la producción de energía primaria totalizó 9,852.9 petajoules (PJ). Los hidrocarburos continuaron siendo la principal fuente de energía primaria producida en el país, con una aportación de 90.5%. La energía producida a partir de fuentes renovables representó 6.2%, la energía nuclear aportó 1.1% y el carbón mineral 2.2%. México continuó siendo un exportador neto de energía primaria, al exportar 2,868.7 PJ en 2009. Prácticamente el total (99.9%) correspondió a las exportaciones de petróleo crudo, que disminuyeron en el año en cuestión, lo cual se reflejó en el retroceso de 12.7% en las exportaciones de energía primaria con respecto a 2008.

En lo que respecta a la energía secundaria, las exportaciones sumaron 578.4 PJ y reflejaron un aumento de 22.9% entre 2008 y 2009, siendo las gasolinas y naftas y el combustóleo los principales productos en el rubro. Destacan las exportaciones de este último, que en 2009 fueron 1.5 veces superiores a las de 2008.

La oferta total de energía mundial en 2008 se compuso por crudo y petrolíferos (33.1%), carbón y sus productos derivados (27.0%), gas natural (21.1%), renovables (13.0%) y nucleoeenergía (5.8%). Destacaron los aumentos anuales de 3.9% en la oferta de carbón y sus productos derivados, 3.5% renovables y 2.5% gas natural. La oferta de crudo y petrolíferos disminuyó 0.5% de 2007 a 2008.

¹³ Fuente: Anuario de Energía Internacional 2005, <http://www.anes.org/anes/index.php?>

Los petrolíferos fueron los que dominaron el consumo en 2008, motivado en gran medida por la demanda del sector transporte y el industrial. No obstante, el consumo de petrolíferos cayó 0.8%.

Por otro lado, destacó que el uso final de electricidad representó 20.2% del consumo total e incrementó su contribución 1.3 puntos porcentuales. El consumo de gas natural representó 15.6% y aumentó 2.3% en 2008 respecto a los niveles de consumo registrados un año antes. El sector industrial consumió la mayor parte de la energía a nivel mundial en 2008, con una participación de 28.0% del total. Este sector mostró una variación de 2.8% respecto a 2007, impulsada por el crecimiento en la demanda de carbón, el cual representó 27.5% de la energía utilizada en el sector, y de electricidad, cuya participación fue de 25.7%. Carbón y sus derivados 9.8% Petrolíferos 41.6% Gas natural 15.6% Renovables 12.9%

Las exportaciones de electricidad cayeron 14.0% en 2009 en relación con 2008. Una de las razones principales para ello fue que los precios del gas natural en la frontera norte fueron muy similares entre Estados Unidos y México, lo que ocasionó que el precio de la electricidad fuera muy parecido entre ambos países, reduciendo así la cantidad de energía eléctrica que se envió a Estados Unidos, principal destino de las exportaciones de electricidad (80.9%). Por otro lado, hubo problemas en el suministro de gas natural a la Península de Yucatán, lo que afectó las exportaciones a Belice, país al cual se envió 17.3% del total de dichas exportaciones. Por su parte, las importaciones de electricidad, 3.6 veces menores a las exportaciones, disminuyeron 1.4% respecto a 2008.

Se tuvieron avances en eficiencia energética, como las centrales eléctricas que operan con gas natural, las cuales mejoraron su nivel de eficiencia en 0.6 puntos porcentuales con respecto a 2008;

En la historia reciente del mercado eléctrico nacional donde se observa que en 2008 ¹⁴ el consumo nacional de energía eléctrica aumentó 2.1% respecto al año anterior, para ubicarse en 207,860 GWh, mostrando una tasa de crecimiento anual de 3.6% durante 1998-2008. El número de usuarios de energía eléctrica atendidos por CFE y la extinta LFC al cierre de 2008 se incrementó en 4.0%, proporcionando el servicio a más de 32 millones de usuarios. Asimismo, durante el periodo 1998-2008, las ventas internas de energía eléctrica han mostrado un crecimiento de 3.0%, impulsado principalmente por los sectores residencial e industrial.

La capacidad nacional instalada para generación de electricidad a diciembre de 2008 incluyendo exportación se ubicó en 59,431 MW, registrando un incremento de 0.7% respecto al año anterior. De esta capacidad, el servicio público (incluyendo producción independiente) concentró 86.0%, mientras que el

¹⁴Secretaría de Energía, Gobierno Federal, México, SENER (2010, Prospectivas del Sector Eléctrico 2009-2024, <http://www.energia.gob.mx> Secretaría de Energía

restante 14.0% está distribuido Las estimaciones del consumo nacional de electricidad para el periodo 2009-2024, indican una tasa de crecimiento anual de 3.6%.

En términos generales, el comportamiento de los precios de los combustibles del escenario de planeación es el siguiente: se proyecta un descenso del combustóleo nacional en tasa anual de -1.2%, el combustóleo importado lo hace a una tasa de -1.0%, mientras que en el caso del gas natural se estima un incremento de 0.8% para el nacional y de 1.5% promedio anual para el importado. En el caso del

Gráfica 2.3.(2005)Consumo de energía en México, por tipo.¹⁵

carbón, dados los altos precios observados durante 2008, se estiman decrementos anuales de -2.4% para el carbón nacional y de -2.9% para el importado.

A los elementos anteriores se añade la implantación de nuevas tecnologías para el uso más eficiente de la electricidad, tal y como acontece en los ámbitos residencial, comercial e industrial con la introducción y difusión de diversos equipos y dispositivos para el ahorro de energía. También se han tomado en cuenta los ahorros obtenidos por la aplicación de normas de eficiencia energética, así como de programas de ahorro de energía como el horario de verano.

Para reducir las emisiones materia de energía eléctrica, en dicho Programa se establecen acciones de eficiencia energética, uso de fuentes renovables de energía, secuestro y almacenamiento geológico de carbono, así como mayor uso de la energía nuclear. Tales acciones están delineadas sobre los siguientes ejes:

- Fomentar la generación de electricidad con tecnologías bajas en carbono
- Desarrollar proyectos de eficiencia energética que reduzcan emisiones de GEI
- Reducir las fugas de hexafluoruro de azufre (SF6) en el sistema de transmisión y distribución.
- Incrementar la generación de electricidad con fuentes de energía eólica geotérmica, hidráulica y solar, que sean técnica, económica, ambiental y socialmente viables
- Fomentar la participación del sector privado en la generación de energía eléctrica con fuentes renovables de energía y en la cogeneración
- Fortalecer las capacidades nacionales para la eventual aplicación de tecnologías de captura y almacenamiento geológico del CO2 generado por la industria energética del país.

¹⁵ Fuente: Anuario de Energía Internacional 2005, http://www.anes.org/anes/index.php?option=com_wrapper&Itemid=75

Por el lado de los usos y consumo de energía eléctrica, el PECC establece los objetivos de mitigación en los sectores residencial, comercial y administración municipal, Administración Pública Federal (APF), industria y turismo. Los objetivos son los siguientes:

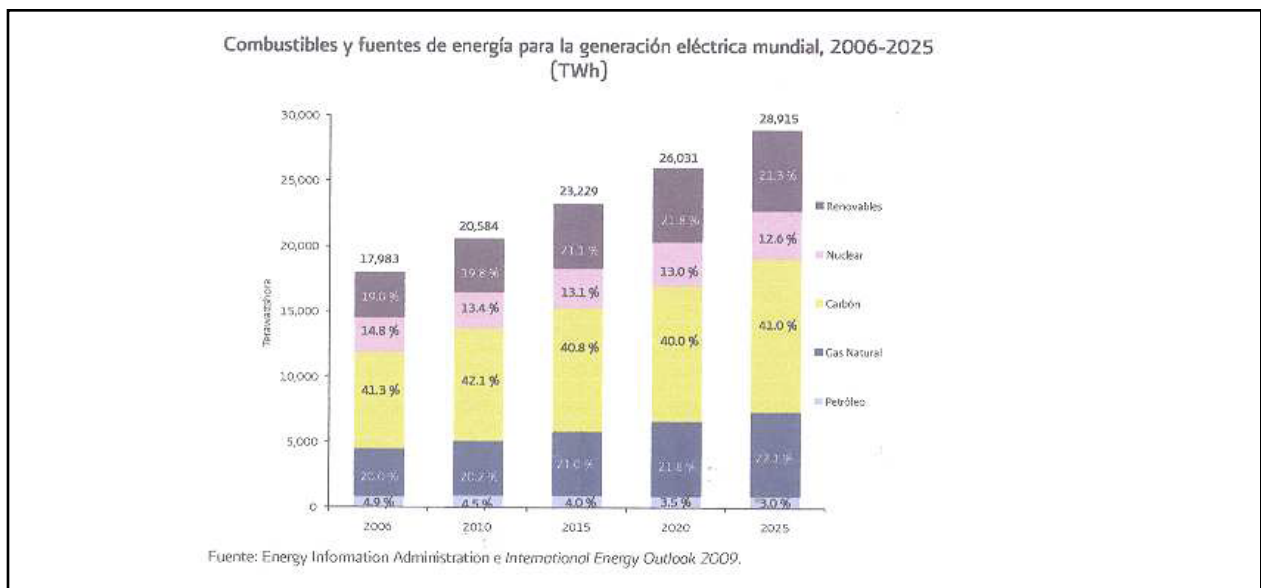
- Impulsar el ahorro de energía eléctrica en viviendas y edificios a través de programas del Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (FIDE)
- Implementar el programa de ahorro de energía “Para Vivir Mejor”, para la sustitución de electrodomésticos por tecnologías eficientes, así como la sustitución de lámparas incandescentes por tecnologías ahorradoras para iluminación en el sector residencial
- Fortalecer las acciones de ahorro de energía en el sector residencial mediante instrumentos normativos
- Promover la construcción de vivienda que garantice el uso eficiente de la energía
- Promover la utilización de tecnologías para aprovechar de manera sustentable la biomasa
- Reforzar y ampliar el programa de ahorro de energía eléctrica en la APF
- Promover la eficiencia energética en el sector industrial para reducir emisiones de GEI, y
- Reducir la demanda de energía y agua asociadas al sector turístico.

2.3. NUEVAS TENDENCIAS

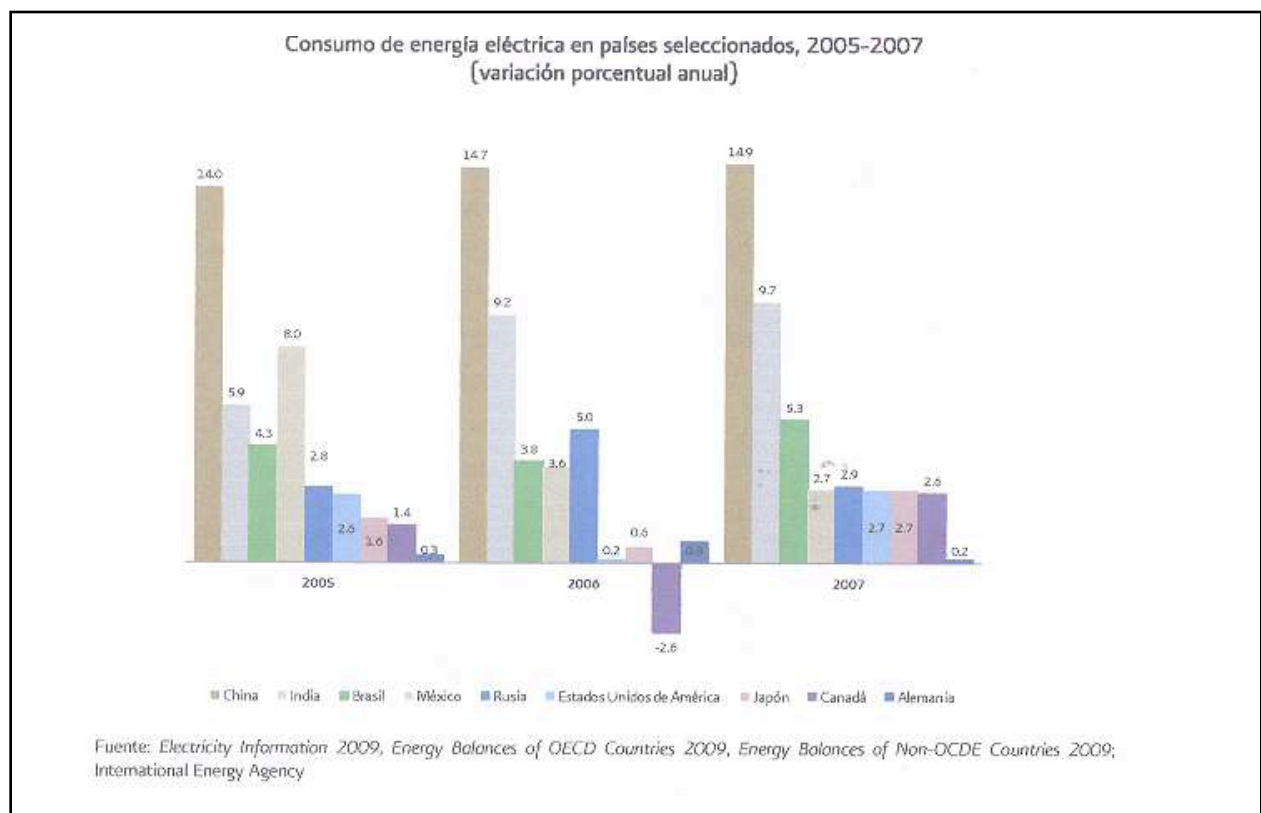
La generación mundial de energía eléctrica a partir de carbón seguirá siendo la de mayor participación, con un crecimiento estimado de 2.5% anual para el periodo 2006-2025.¹⁶

En 2006, 41.3% de la energía eléctrica se generó a partir del carbón. A pesar de los altos precios que se han registrado para este combustible, continuará siendo más atractivo para generar electricidad que los hidrocarburos líquidos y el gas, sobre todo en países con grandes reservas carboníferas como EUA, China, India y Australia, en donde aún no se penalizan las emisiones de GEI. En EUA, las centrales que utilizan carbón aportaron en 2006 32.7% de la capacidad total instalada, y generaron 49.0% de su electricidad total. La utilización de estas plantas se orienta para atender carga base, operando sobre periodos largos para producir la mayor cantidad de electricidad por unidad de capacidad instalada. En 2006, China, EUA e India fueron los países con la mayor capacidad instalada para utilizar carbón, con 350 GW, 314 GW y 78 GW, respectivamente. Los planes de crecimiento hacia 2025 son mayores para China con 4.6%, mientras que para India son de 2.3%, y se espera que en EUA la expansión de capacidad aumente en 0.3% en promedio anual.

¹⁶ Secretaría de Energía, Gobierno Federal, México, SENER (2010, Prospectivas del Sector Eléctrico 2009-2024, <http://www.energia.gob.mx> Secretaría de Energía



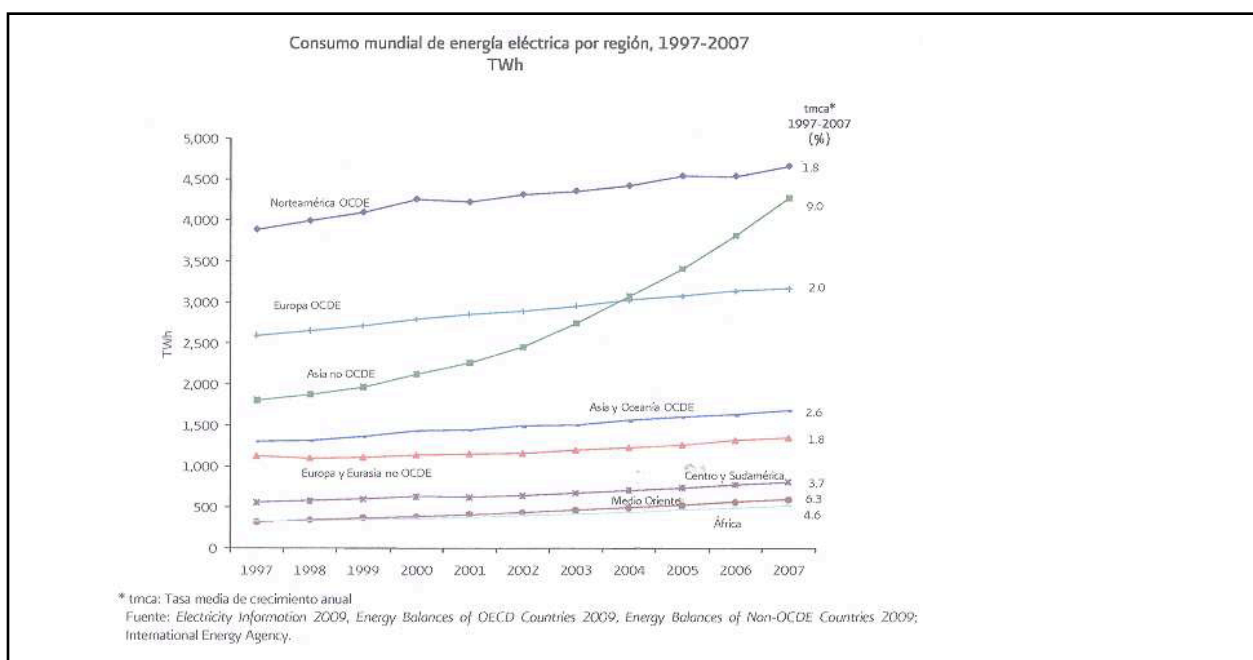
Gráfica 2.4. Fuente: Secretaría de Energía, Gobierno Federal, México, SENER (2010, Prospectivas del Sector Eléctrico 2009-2024, <http://www.energia.gob.mx> Secretaría de Energía



Gráfica 2.5. Fuente: Secretaría de Energía, Gobierno Federal, México, SENER (2010, Prospectivas del Sector Eléctrico 2009-2024, <http://www.energia.gob.mx> Secretaría de Energía

En términos de desarrollo económico, es indudable que los países que cuentan con una mayor cobertura y calidad en el suministro de energía eléctrica tienen mayores estándares de vida. Sin embargo, también existen concentraciones urbanas densamente pobladas en las que el suministro eléctrico tiene una alta penetración pero que no necesariamente con ello se garantiza la calidad en frecuencia y voltaje así como la estabilidad del fluido eléctrico. Tal es el caso de la zona metropolitana de la ciudad de México

La capacidad instalada para la generación de energía eléctrica en países miembros de la OCDE creció 2.8% en promedio anual durante 1997-2007, ubicándose en 2,582 GW hacia el final del periodo. En el último año, Estados Unidos concentró 42.2% de dicha capacidad con 1,090 GW, lo que representa 85.6% del total en Norteamérica; por su parte Canadá y México participan con 9.8% y 4.6%, respectivamente. Norteamérica tiene instalado el 49.3% de la capacidad total de la OCDE. En el caso de los países europeos miembros de la OCDE destacan: Alemania, Francia, Italia y el Reino Unido, que en conjunto aportan 16.5% de la capacidad instalada. Asimismo, la capacidad total de la región representa 32.4% de la OCDE. El resto se conforma por los países miembros asiáticos⁶ y de Oceanía, con 13.7% y 4.7% respectivamente.



Gráfica 2.6. Gráfica 2.5. Fuente: Secretaría de Energía, Gobierno Federal, México, SENER (2010, Prospectivas del Sector Eléctrico 2009-2024, <http://www.energia.gob.mx> Secretaría de Energía

El combustible con mayor dinamismo para la generación eléctrica ha sido el gas natural, como se puede ver en la gráfica anterior. En 1998, la generación basada en dicho combustible representaba el 14.0% y 10 años después aumentó al 48% de la generación total, lo que representa un crecimiento promedio

anual de 17.0%. Por otra parte, la generación de electricidad basada en combustóleo disminuyó de 51.7% a 18.3% de participación en la generación del servicio público, es decir, un decremento promedio anual de -6.9%.¹⁷

Emisiones de CO ₂ equivalente en generación eléctrica			
Países OCDE ¹			
País	Emisiones (MtCO ₂ e)	Generación (GWh)	tCO ₂ e/MWh
Australia	213.79	230,217	0.929
Grecia	35.94	52,022	0.691
EEUA	2,215.53	3,965,847	0.559
Reino Unido	176.87	351,388	0.503
México ²	112.46	225,079	0.500
Holanda	20.56	41,708	0.493
Alemania	252.02	516,149	0.488
Italia	96.44	210,170	0.459
Turquía	69.55	159,610	0.436
Portugal	18.42	42,406	0.434
Japón	377.83	972,884	0.388
España	94.94	264,321	0.359
Canadá	104.21	554,622	0.188
Austria	7.02	49,245	0.143
Francia	26.37	541,355	0.049
Suecia	0.20	129,969	0.002
Noruega	0.12	115,918	0.001
Islandia	0.00	8,493	0.000
Suiza	0.00	58,377	0.000
OCDE Norte América	2,433.16	4,745,548	0.513
OCDE Asia Pacífico	766.25	1,611,876	0.475
OCDE Europa	890.03	2,803,242	0.318
Total OCDE	4,089.43	9,160,666	0.446
Países No-OCDE ³			
País	Emisiones (MtCO ₂ e)	Generación (GWh)	tCO ₂ e/MWh
India	587.77	699,041	0.841
China ⁴	2,103.89	2,535,892	0.830
Sudáfrica	195.93	244,920	0.800
Israel	39.16	49,843	0.786
Indonesia	88.13	127,362	0.692
Arabia Saudita	107.24	176,124	0.609
Chile	16.53	49,941	0.331
Ecuador	4.02	13,404	0.300
Ucrania	55.13	186,055	0.296
Argentina	25.55	105,765	0.242
Venezuela	19.00	101,544	0.187
Perú	4.11	25,499	0.161
Colombia	6.29	51,566	0.122
Uruguay	0.79	7,684	0.103
Brazil	20.49	403,032	0.051
Costa Rica	0.11	8,252	0.013
Rusia	0.00	953,086	0.000
Asia (excluyendo China)	1,038.49	1,599,645	0.65
Medio Oriente	400.07	639,982	0.63
África	342.47	565,908	0.61
América Latina	142.66	905,800	0.157
Total No-OCDE	4,181.10	7,847,524	0.533
Total mundial	8,306.56	18,306,725	0.454

¹ Datos de 2006.
² El dato de emisiones para México corresponde a lo publicado en el *Programa Especial de Cambio Climático 2009-2012*.
³ Datos de 2005.
⁴ Incluye Hong Kong.
Fuente: *Tracking industrial energy efficiency and CO₂ emissions 2007*, International Energy Agency, 2008.

Tabla 2.3. Fuente: Secretaría de Energía, Gobierno Federal, México, SENER (2010, *Prospectivas del Sector Eléctrico 2009-2024*, <http://www.energia.gob.mx> Secretaría de Energía

La volatilidad de los precios de los hidrocarburos, las necesidades de reforzar la seguridad energética y la identificación de oportunidades de mitigación de emisiones de GEI, constituyen un conjunto de factores de decisión para la diversificación del uso de fuentes primarias para generar electricidad, lo cual implica evaluar con un sentido mucho más amplio el panorama de opciones tecnológicas a considerarse en la planeación y construcción de nueva capacidad alrededor del mundo.

¹⁷ Secretaría de Energía, Gobierno Federal, México, SENER (2010, *Prospectivas del Sector Eléctrico 2009-2024*, <http://www.energia.gob.mx> Secretaría de Energía

**Capacidad de generación eléctrica por fuente primaria de energía, 2007-2009
(Estructura porcentual)**

Concepto	Periodo	Datos anuales			Enero-junio		
	1 de enero de 2007 al 30 de junio de 2009	Observado		Meta 2009	2008	2009 ^{1/}	Variación anual (puntos porcentuales)
		2007	2008				
Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	0.0
Combustóleo	26	28	28	26	28	26	-2.0
Gas natural	38	37	38	38	38	38	0.0
Carbón	9	9	7	9	7	9	2.0
Grandes hidroeléctricas ^{2/}	19	18	19	18	19	19	0.0
Pequeñas hidroeléctricas	3	4	3	4	3	3	0.0
Otros renovables	2	2	2	3	2	2	0.0
Nuclear	3	3	3	3	3	3	0.0

^{1/} Las grandes hidroeléctricas tienen una capacidad de generación igual o mayor a 70 megawatts.

^{2/} Cifras preliminares.

Fuente: Sener.

Tabla 2.4. Fuente: Secretaría de Energía, Gobierno Federal, México, SENER (2010, Prospectivas del Sector Eléctrico 2009-2024, <http://www.energia.gob.mx> Secretaría de Energía

Por otra parte, de un registro total de reservas mundiales de 826,001 millones de toneladas en 2008, las mayores reservas de carbón se encuentran en EUA (28.9%), Rusia (19.0%), China (13.9%), Australia (9.2%) e India (7.1%). Este hecho les confiere cierto grado de seguridad energética a la mayoría de estos países en el suministro del combustible para la generación de electricidad, lo cual se refleja en la dominante proporción de la capacidad carboeléctrica instalada en EUA, China, India y Australia, como ya se ha mencionado.

En el caso de México, en 2008, el consumo de carbón representó 0.3% del consumo mundial, el cual se concentró básicamente en la industria siderúrgica y el sector eléctrico. A pesar de los efectos de la volatilidad observada en los precios del carbón en algunos años, la utilización de este combustible es atractiva tomando en cuenta que las centrales carboeléctricas constituyen una tecnología madura, existen grandes reservas de este energético a nivel mundial¹⁶ y es accesible en el mercado mundial.

Sin embargo, dado que México no posee yacimientos carboníferos con un costo de extracción competitivo y con la calidad requerida en cuanto al contenido de azufre y cenizas se refiere, de intensificarse su uso será necesario impulsar la explotación de carbón mineral en las regiones de Sabinas Coahuila, Cabullona y Barranca en Sonora, y de Tlaxiaco y San Juan Diquiya en Oaxaca, o bien incrementar su importación

2.3.1 ENERGÍAS RENOVABLES

La reducción de contenido de carbono de las fuentes de energía primaria, es decir una posible “limpieza del carbón” nos permitirá no llegar a escenarios apocalípticos. Sin embargo, la actual crisis económica y los problemas derivados de ella amenazan un camino bien delimitado desde hace décadas para llevar a cabo. El llamado “pacto de la energía” debe basarse en la lógica y el interés común, y no en los intereses particulares y del momento. Los adelantos tecnológicos de las energías renovables, deberán centrarse en crear y patentar nuevos sistemas productores de energía, aprovechando fuentes naturales realmente inagotables como el viento (energía eólica), el sol (fotovoltaica), la biomasa o el agua (hidroelectricidad).

Las energías renovables, han sido potenciadas y desarrolladas, en su mayoría, por pequeños y medianos empresarios. Merced al desarrollo experimentado por las renovables en los últimos años, se ha vislumbrado un posible abaratamiento de la energía en general, algo que amenaza directamente a los intereses privados de las eléctricas tradicionales, forzadas a redistribuir su cuota energética, y por tanto, también sus preciados beneficios.

La generación de energía eléctrica con energía no renovable, se puede transformar por el desarrollo de una solución ecológica. El precio de las energías renovables es "0"; dado que su combustible es de origen natural, gratuito e inagotable, lo único que tienen de gastos *a priori* las renovables es el problema de la amortización de sus instalaciones.

Es imprescindible apostar con fuerza por las energías renovables. Contamos con infinitas fuentes de abastecimiento de “combustibles ecológicos” 100% renovables y limpios.

2.3.2. NUEVA ACTITUD

Aunque las soluciones adoptadas para mitigar el mal funcionamiento del vidrio en cuanto a cuestiones térmicas son absolutamente necesarias, la respuesta para obtener espacios sustentables recae en la transmisión de la luz.

Desde ésta perspectiva, es especialmente importante reflejar que los edificios con soluciones de grandes superficies vidriadas, reciben una gran cantidad de energía, la cual es reflejada con estrategias de diseño de control solar, solución que ha sido usada tradicionalmente. Es obvio que la mayoría de ellos están basados en el concepto de “tapar” el sol, lo que significa que los dispositivos se utilizan para bloquear cuando los deslumbramientos molestan a sus ocupantes o abrir cuando quieren tener luz de día. Cuando el control solar está cerrado, el espacio interior proporcionalmente se oscurece haciendo necesario el uso de la luz artificial, lo que hace necesario por un lado más consumo de electricidad en

iluminación y en equipos de enfriamiento para contrarrestar el calor de las luminarias en el caso de grandes oficinas. En ésta cadena de sucesos nos podemos dar cuenta que el uso adecuado de sistemas de iluminación natural permitirán el paso indirecto de la luz para bloquear deslumbramientos o luz directa o alguna otra característica no deseada.¹⁸

La consecuencia realmente importante en ésta cadena del mal uso de la energía, radica en el hecho de que cada vez que se decide por las estrategias de diseño equivocadas, (como sólo bloquear la luz del sol), se provoca que el concepto de las fachadas acristaladas actúen como dispersor de energía, mientras que usando las estrategias adecuadas de iluminación natural, las superficies o azoteas de los edificios pueden actuar como colectores de energía como un primer paso para una mejor distribución de la luz. De esta manera la iluminación no será mayor debido a una recepción más grande de energía solar, pero será la consecuencia de un mejor manejo de los recursos.

En realidad, aunque se ha puesto gran empeño en tener un acercamiento hacia diferentes áreas de soluciones sustentables, profesionalmente sólo un pequeño porcentaje de arquitectos se han enfocado a estas soluciones y/o están capacitados para utilizar las nuevas estrategias en un modo efectivo en sus proyectos.

De acuerdo al Reporte de una Firma de Encuestas, contratada por el Instituto Americano de Arquitectura¹⁹, solamente el 33% de las firmas de Arquitectura en los Estados Unidos, habían trabajado en proyectos sustentables.

Otro estudio notable, llevado a cabo por la Research Frontiers Incorporation a principios del 2004²⁰, con el objetivo de conocer acerca del grado de conciencia que tienen los arquitectos hacia la utilización de productos y sistemas alternos para iluminar naturalmente. Este estudio consistió en entrevistar a diferentes firmas de nivel medio de arquitectos en todo Estados Unidos y la información que dieron estos resultados fue crucial:

- En general, en Estados Unidos, los arquitectos entrevistados, actualmente están usando la misma o más cantidad en sus proyectos que hace cinco años.
-
- 97.3% Creen que el cristal juega un importante papel en el diseño sustentable.

¹⁸ Köster, H. 2003. Dynamic Daylighting Architecture, Basics, Systems, Projects. Birkhäuser, Basel-Boston-Berlin. p13

¹⁹ AIA (The American Institute of Architects) Firm Survey Overview 2006.p.13 <http://www.aia.org/aiarchitect/thisweek07/015/2006FirmSurveyOverview.pdf>

²⁰ Sottile, G.M. 2004. 2004 Survey of United States Architects on the Subject of Switchable Glazings. Research Frontiers Incorporated, Woodbury, NY.

- 95.5% Cree que la demanda de cristales con control solar se está incrementando.
-
- Cerca de tres cuartos de los arquitectos entrevistados han utilizado sistemas alternos. Sin embargo éste alto nivel de utilización va acompañado con un conocimiento muy limitado, dando como resultado una dificultad para distinguir las diferentes opciones de iluminación natural de las que pueden tomar ventaja en sus proyectos.
- Sólo un arquitecto de la muestra, trabaja para una firma que ha especificado nuevos sistemas en sus proyectos. Cuando se analiza las razones de porqué los arquitectos no han especificado nuevos sistemas de iluminación natural; dos factores importantes fueron detectados: 1) falta de conocimiento hacia los productos; 2) la percepción de que los costos asociados a las nuevas tecnologías son altamente prohibitivos.
-
- Los participantes estudiados fueron preguntados para evaluar su nivel de satisfacción con los productos y sistemas tradicionalmente usados. Las actitudes difirieron basadas en el enfoque de cada firma. Organizaciones dedicadas principalmente a proyectos residenciales tenían un alto grado de satisfacción; los arquitectos enfocados al sector comercial, estaban menos satisfechos pero aún positivos. Las opiniones de éste último grupo estaban influenciadas por los costos y por construir bajo condicionamientos energéticos que podrían impedir el alcance de integrar con nuevos sistemas la luz natural.

De lo anterior, se concluye que los arquitectos todavía tienen una gran predisposición hacia la integración de la luz en sus diseños; y no tienen intenciones reales de adquirir un mejor entendimiento de las implicaciones energéticas del uso de un buen nivel de información sobre las posibilidades de integrar la luz natural a los espacios. Por lo tanto, ésta falta de información implica una falta de criterio hacia las decisiones a la hora de diseñar y construir, lo que se traduce por consecuencia lógica en altos costos energético.

CAPITULO 3

LUZ NATURAL E ILUMINACION INTERIOR

3.1. ILUMINACION NATURAL

- 3.1.1. VENTAJAS DE LA LUZ NATURAL
- 3.1.2. EFECTOS EN LA SALUD
- 3.1.3. OBJETIVOS DE LA ILUMINACION NATURAL

3.2. FENOMENOS FISICOS DE LA LUZ NATURAL APLICADOS A LA ARQUITECTURA.

- 3.2.1. REFLEXION
- 3.2.2. REFRACCION
- 3.2.3. DIFRACCION
- 3.2.4. INTERFERENCIA

3.3. FUENTES DE LUZ NATURAL

- 3.3.1. DIRECTA
- 3.3.2. INDIRECTA
- 3.3.3. DIFUSA

3.4. TIPOS DE CIELO

- 3.4.1. CIELO CUBIERTO
- 3.4.2. CIELO PARCIALMENTE DESPEJADO
- 3.4.3. CIELO CLARO

3.5. OBTENCION DE DATOS DE LUZ NATURAL

- 3.5.1. MODELOS DE VALIDEZ LOCAL DE ILUMINANCIA EXTERIOR
- 3.5.2. PROGRAMA INTERNACIONAL DE MEDICIONES DE ILUMINACION NATURAL.
- 3.5.3. MODELOS DE PREDICCION GENERALES

3.6- TRATAMIENTO CUANTITATIVO DE LA LUZ NATURAL

- 3.6.1. METODOS
- 3.6.2. FACTOR DE LUZ NATURAL
- 3.6.3. MEDICIONES EN MODELOS A ESCALA
- 3.6.4. MODELOS MATEMÁTICOS

3.1. ILUMINACION NATURAL

La iluminación natural constituye una excelente alternativa para la iluminación de interiores y su aporte es valioso no sólo en relación con la cantidad sino también con la calidad de la iluminación

Para entender la Luz Natural, desde el punto de vista operacional, se define como el espectro visible de la energía solar que el ojo humano es capaz de percibir; una onda electromagnética perceptible entre 400 nanómetros (luz violeta) y 700 (luz roja).

La calidad de la luz solar tiene la particularidad de ser dinámica ya que está continuamente cambiando a lo largo del día y de los meses del año. La visión humana está desarrollada para la luz natural y para estos cambios. Una iluminación natural bien diseñada cumple con las necesidades de altos niveles (500 lux) en un local. Es posible aprovechar entre un 60-90% del total de las horas de luz natural, lo que nos brinda un gran potencial de ahorro en energía eléctrica en edificios de uso diurno. (Ej. escuelas, oficinas, industrias).

En el desarrollo preliminar del diseño de un edificio, así como en el diseño de los elementos que han de captar, dirigir y distribuir la luz natural, el criterio visual interior y los requerimientos básicos de iluminación deben ser prioritariamente conocidos y definidos. Esto nos remite a las normas y recomendaciones efectuadas a escala regional y/o internacional para los distintos tipos de locales (Gonzalo y otros, 2000; Pattini, 2000).

Los diseñadores deben determinar los parámetros de disponibilidad de luz natural para la localidad donde se emplazará el edificio y la selección de los datos apropiados de luz natural que se usarán como base para la propuesta de diseño, para poder predecir entonces la contribución de iluminación natural para varios esquemas.

3.1.1 VENTAJAS DE LA LUZ NATURAL

En relación con la iluminación artificial, la iluminación natural presenta las siguientes ventajas:

- A. Es provista por una fuente de energía renovable. Se consigue mediante la energía radiante del sol, en forma directa o a través de la bóveda celeste.

- B. Implicar ahorro de energía. Se puede conseguir cumplir con los requerimientos de iluminancia de un local interior para tareas visuales de complejidad media entre un 60-90%²¹ en edificios de uso diurno, como por ejemplo escuelas, oficinas, industrias y edificios residenciales.
- C. Proporciona niveles de iluminación más elevados en las horas diurnas, para la mayor parte del año, que los obtenidos con luz eléctrica mediante instalaciones económicamente sustentables. Se puede llegar a tener una iluminación homogénea interior de alrededor de 1000 luxes.
- D. La luz solar directa introduce menos calor por lumen que la mayoría de las fuentes de iluminación eléctrica. La luz directa del sol, iluminando superficies perpendiculares a ella, alcanza valores de entre 60,000 a 100,000 lux, muy intensa para ser utilizada directamente pues puede ocasionar deslumbramientos y aumentos de temperatura. Generalmente se excluye completamente la luz solar directa en interiores, lo que si se diseña de manera adecuada se conseguiría que la proporción de calor introducida por lúmenes de luz solar directa sea menor que la mayoría de las fuentes de iluminación eléctrica como se ve en la tabla 1.
- E. Tiene la particularidad de ser dinámica: está continuamente cambiando a lo largo del día y de los meses de año. La visión humana está desarrollada de manera que evidencia cierta adaptación a las características de la luz natural y de sus cambios. Además, sus continuos cambios son favorables como efecto estimulante.
- F. Integra otros elementos que favorecen la satisfacción de necesidades biológicas y psicológicas de ritmos naturales. Por ejemplo haciendo visible el entorno asegura una conexión con el ambiente exterior, las radiaciones externas y las condiciones de cielo, efecto que en general es muy bien recibido por el usuario de la iluminación.
- G. La adecuada provisión de luz natural a una vivienda o local puede incrementar el valor comercial de ellos.

3.1.2. EFECTOS EN LA SALUD

Una adecuada exposición a la luz del sol mejora la calidad de las emociones, refuerza el sistema inmunológico, aumenta la resistencia física y regula el insomnio.

²¹ Pattini, A. Cálculos de Iluminación, Capítulo 11 "Luz Natural e Iluminación de Interiores" www.cricyt.edu.ar/lahv/atm/index.php?action=downloadfile..2008

La luz solar tiene un espectro continuo, mientras que la luz artificial no tiene muchas frecuencias que el cuerpo humano requiere para las funciones esenciales. Los órganos humanos son orquestados para trabajar en armonía entre sí, generando un ritmo en el cuerpo que fija todos los días la luz del día.

Este ritmo es llamado circadiano, el cual produce y segrega hormonas, cortisol y melatonina que regulan funciones como la temperatura corporal, la conciencia y la actividad del sistema inmune.

Los niveles hormonales son optimizados cuando nos exponemos a la luz natural.

La ciencia ha demostrado que la luz solar influye directamente en múltiples procesos biológicos humanos, concretamente en los relativos al sistema endocrino, nervioso e inmune. La llamada depresión invernal que fue definida en 1984 por el doctor Norman E. Rosenthal, quien la denominó trastorno afectivo estacional) Según Rosenthal, esta afección, originada por una insuficiente cantidad de luz natural, cursa normalmente cuadros de apatía, falta de energía, exceso de apetito y estado depresivo. También se observa carácter irritable, alteraciones de sueño y dificultades en el trato con los demás, aunque la falta de energía es el rasgo más definitorio.

Recientemente, un grupo de investigadores de la Universidad de Alabama en Birmingham (Estados Unidos) han ido más allá y han constatado la importancia que tiene la luz natural para mantener la mente en forma. Según estos estudios, una baja exposición a la luz solar de las personas que padecen depresión incrementa su riesgo de sufrir un cierto deterioro en las capacidades cognitivas. Finlandia y Noruega, países con prolongados inviernos sin luz, reflejan los índices de depresión y suicidios más altos de todo el mundo. Son dos ejemplos de hasta qué punto la cantidad y calidad de la luz que percibimos pueden afectar a nuestro ánimo y nuestra salud.

No fue hasta 2002 que David Berson de la Universidad Brown, descubrió una nueva célula en el ojo que actúa como un foto-receptor como una vara o un cono y establece el ritmo del cuerpo. Estas células ganglionares también se conocen como las terceras receptoras.

La luz natural es un potente alimento para el cuerpo y la mente. Tal es así, que su carencia tiene las mismas consecuencias que una mala dieta: apatía, ansiedad, disminución de las defensas o palidez. En este sentido, resulta significativo señalar que las condiciones de trabajo y la calidad de vida no son las mismas para las personas que viven y trabajan con acceso a la luz natural que para los que no tienen esa oportunidad. Estos últimos son más propensos a sufrir cierto tipo de patologías debido, entre otros factores, a la ausencia de luz.

El potencial terapéutico de una exposición adecuada al sol reporta una serie de beneficios que ayudan a mejorar nuestra calidad de vida.

- Mejora la resistencia física.
- Se fortalece el sistema inmunológico.
- Estimula la capacidad de atención y aprendizaje.
- Reduce el hambre y el apetito compulsivo.
- Minimiza las actitudes agresivas y mejora el carácter.
- Incrementa la tolerancia a la fatiga y el estrés.
- Tiene acción preventiva en el riesgo de tumores.
- Regula los ciclos de sueño y el reloj biológico.
- Produce vitamina D.
- Contribuye a aliviar reumatismos, artrosis y artritis.
-

3.1.3. OBJETIVOS DE LA ILUMINACION NATURAL

- A. Proporcionar el nivel de iluminación necesario para el desarrollo de la tarea.
- B. Minimizar deslumbramientos y reflejos, así como minimizar el efecto de reducción de ingreso de radiación debido al ángulo de incidencia de la luz, además minimizar el deslumbramiento de **v e l o** sobre los planos de trabajo, resultante de la visión directa de la fuente de luz en las **v e n t a n a s** superiores.
- C. Evitar y controlar **contrastes** en la penetración de luz solar directa en el entorno de la tarea visual, y Controlar el contraste de claridad dentro del campo visual de los ocupantes.
- D. Difundir la luz mediante múltiples reflexiones en los cerramientos interiores.
- E. Uso del potencial estético de la luz directa.
- F.- Maximizar la transmisión de luz por unidad de área vidriada.
- G.- Minimizar las ganancias de calor diurno durante el período de verano.
- H.- Proveer sombra sobre las áreas vidriadas para evitar sobrecalentamientos estacionales o deslumbramientos según la orientación de la fachada.

3.2. FENOMENOS FISICOS DE LA LUZ NATURAL APLICADOS A LA ARQUITECTURA

La luz, las texturas, el color, la proporción, la cantidad y forma de los elementos, así como la calidad de sus materiales en su capacidad de reflexión y transparencia, alteran la sensación espacial, en particular la atribución de tamaños y de significados (Letelier)²². Adicionalmente se conocen los efectos perceptivos que pueden lograrse mediante “equivocos visuales”, y las modificaciones espaciales que se obtienen con sólo el recurso de la luz natural.

A pesar de su apariencia inasible, la luz es el fenómeno capaz por sí solo de generar aquella transformación sensorial que puede poner en vigencia cualquier espacio. “Los físicos la han abordado con un enfoque científico, los pensadores religiosos en forma simbólica, los artistas y técnicos como algo práctico; pero todos hablan de aquello cuya naturaleza y sentido han sido objeto de atención y veneración humanas durante siglos”²³

En la arquitectura la utilización de la luz mediante diferentes tecnologías es respaldada experimental y teóricamente por las leyes de la óptica geométrica (para fenómenos de reflexión y refracción) y la óptica física (fenómenos de difracción e interferencia).

3.2.1.- REFLEXION.

La reflexión de la luz es importante en cuanto a su comportamiento en las superficies, dependiendo de su tersura y color. En el fenómeno de la reflexión se aprovechan: la reflexión especular y la reflexión difusa, correspondiente a la que sucede en superficies rugosas. Se emplea también el comportamiento de la reflexión en espejos cóncavos y convexos donde, debido a la dirección a la que emiten el reflejo, se generan interesantes imágenes y distorsiones aprovechables en arquitectura.

3.2.2.- REFRACCION

La refracción se aprovecha en el manejo del comportamiento de materiales transparentes o traslúcidos: porque cuando un rayo de luz incide sobre una superficie transparente, parte se refleja y parte se

²² Letelier, Sofia. Lectura e Ideación de la escala y “escalaje” en arquitectura. Tesis doctoral UPM, Madrid, 2007

²³ Arthur Zajonc,(1993), Catching the Light, The Entwined History of Light and Mind,

transmite al segundo medio, es decir, se refracta. Se ve un cambio de dirección o deformación del objeto iluminado en la refracción porque cambia la velocidad de la luz pero no su frecuencia: si el rayo entra con un ángulo distinto a 0, el rayo se desvía y el efecto visual es una línea quebrada en el paso de un medio a otro. Esto sucede gracias a que la velocidad de la luz en el vacío (con un índice de refracción, diferente para cada material o medio), de modo que al saber el índice de cada material es posible preverlo, medirlo y utilizarlo en arquitectura.

En ésta investigación esta propiedad ha sido de gran interés, ya que puede darse en todos los materiales macizos y transparentes como el vidrio, los acrílicos, el plástico o el agua. En todos ellos la luz se propaga reflejándose aunque invisiblemente en el interior, sólo se manifiesta al llegar al borde.

Lo más interesante es que ésta conducción que llega a delinear con luz el canto de los materiales, siendo invisible el resto, puede producirse incluso si el medio no mantiene una línea o plano recto, lo cual es importante para el transporte de luz. Ello permite llegar con luz, e incluso con color, a lugares en donde ésta es inaccesible. Si bien es un fenómeno conocido en fibra óptica y objetos menores, se demuestra que puede ser empleado en grandes espacios con varios materiales y formas obteniendo efectos visuales y perceptuales.

3.2.3.- DIFRACCION

Es un fenómeno que consiste en la dispersión y curvado aparente de las ondas cuando encuentran un obstáculo. La difracción ocurre en todo tipo de ondas y es un fenómeno de tipo interferencial y como tal requiere la superposición de ondas coherentes entre sí.

3.2.4.- INTERFERENCIA

La interferencia es para la mecánica ondulatoria lo que resulta de la superposición de dos o más ondas; resulta en la creación de un nuevo patrón de zonas más intensamente iluminadas y otras casi en la oscuridad total. La adición de luz se produce si la cresta de dos o más ondas coinciden en un mismo punto: se suman, resultando en una onda de mayor amplitud (más luminosidad). Lo mismo ocurre en la situación contraria pero con efecto opuesto: si la cresta de una onda se interfiere con la cresta en fase opuesta de otra, éstas se anulan y dan menos luminosidad.

3.3. FUENTES DE LUZ NATURAL

El sol y el cielo son las fuentes de las que se dispone para la iluminación natural. Esta llega al interior de un local directa o indirectamente, dispersada por la atmósfera y reflejada por las superficies del ambiente natural o artificial.

La luz del sol se transmite en el interior de un espacio por transmisión, dispersión o reflexión de la misma. Esto incluye el cielo (bóveda celeste), así como el ambiente externo natural o construido por el hombre. Por lo tanto, el tipo de cielo, las superficies de la tierra, plantas y otros edificios son parte de la “luminaria natural”. Estos elementos pueden hacer variar la iluminación interior de un momento a otro y de un caso a otro.

Por lo tanto todas estas afectaciones contribuyen al grado de variación de iluminación natural de los interiores. Esta variación puede cambiar parcialmente debido al movimiento del sol y los cambios en las nubes y en parte porque el follaje de las plantas y la reflexión del piso cambian con las estaciones del año.

De la radiación total que llega a la superficie de la tierra después de atravesar la atmósfera, sólo la radiación visible 380 a 780 nm es relevante desde el punto de vista de la iluminación natural.

3.3.1. DIRECTA

La luz solar directa es la porción de luz natural que incide en un lugar específico proveniente directamente del sol y se caracteriza por:

- Su continuo cambio de dirección.
- Espectro continuo
- Eficiencia variable, según su ubicación
- Su probabilidad de ocurrencia.
- La iluminancia que produce en una superficie horizontal no obstruida.

3.3.2. INDIRECTA

La luz solar indirecta es la que llega a un espacio determinado por reflexión generalmente en muros, pisos o plafones. En los climas soleados, la luz natural indirecta constituye un verdadero aporte a los sistemas de iluminación natural, mediante el uso de superficies reflectoras que dirigen la luz solar directa en plafones, aumentando la cantidad de luz natural disponible y mejorando su distribución.

3.3.3. DIFUSA

La luz natural difusa tiene casi la misma intensidad en diferentes direcciones, es la que proviene de la bóveda celeste sin considerar el sol.

Lo que caracteriza la cantidad de luz natural disponible es la iluminancia en una superficie horizontal exterior no obstruida.

- Iluminación uniforme
- Eficiencia constante
- La clasificación de tipos de cielo dependen de:
- Localización geográfica
- Clima de cada región
- Densidad y uniformidad de nubes
- Polución atmosférica.

3.4. TIPOS DE CIELO

La fuente de luz considerada para el cálculo de iluminación natural, es la bóveda celeste, excluyendo siempre la luz solar directa sobre planos de trabajo, ya que genera contrastes excesivos y causa deslumbramientos.

Según las características locales de la bóveda celeste y las estrategias de diseño, se emplea la siguiente clasificación

3.4.1. CIELO CUBIERTO

Definido para climas fríos²⁴ como un cielo cubierto en un 90% por nubes con sol no visible. Otras clasificaciones incluyen en este tipo de cielo cuando la proporción de nubes va desde un 70% a 100%. Una simplificación de este tipo de cielo es conocida como cielo de luminancias uniformemente distribuidas o cielo uniforme que supone una capa de nubes blancas de espesor constante y una atmósfera de turbidez constante.

3.4.2. CIELO PARCIALMENTE DESPEJADO

Con presencia estacional del sol alternada por períodos de nubosidad variable (climas templado húmedo y cálido húmedo), la iluminancia en una superficie horizontal exterior no obstruida bajo este tipo de cielos, puede variar entre 100,000 lux (sin nubes) y 10,000 lux (con nubes interceptando el sol). Este tipo de cielo es el más difícil de predecir por la enorme variabilidad que puede presentar.

3.4.3. CIELO CLARO

Definido por CIBSE es un cielo no obstruido por nubes²⁵; y por la IESNA²⁶, como un cielo obstruido en un porcentaje menor al 30%. En todos los casos se trata de una bóveda celeste donde el sol no está obstruido por las nubes. Su relación de luminancias es de 1 en el horizonte a 0,5 en el cenit.

Aquí nos encontramos con dos problemas al querer determinar las distribuciones luminosas de los cielos; por una parte hay innumerables distribuciones de cielos posibles y sólo tres de ellas pueden ser descritas por una fórmula matemática²⁷; por otra parte los valores de luminancia son determinados estadísticamente, con valores obtenidos como resultado de mediciones de varios años.

Sin embargo es muy útil definir las condiciones de cielo aunque sólo tengamos valores relativos nos pueden mostrar que:

²⁴ CIBSE - Estandarización Británica

²⁵ CIBSE - Estandarización Británica

²⁶ IESNA Estandarización Norteamericana.

²⁷ Pattini y otros, 1994

Cuando el cielo está nublado, el cenit es tres veces más luminoso que el horizonte.

Se considera un cielo uniforme a modo de simplificación para los cálculos, en este caso las luminancias provenientes del cielo uniformemente nublado son asumidas como isotrópicas (iguales independientemente de la dirección de donde provienen).

En un cielo claro la parte del cielo más brillante es la que se encuentra en el sol y en el anillo que lo circunda (circunsolar) y la más oscura (azul intenso) es la que se encuentra a 90° del sol; de esta manera, el horizonte puede ser más luminoso que el cenit en condiciones de cielo claro.

3.5- OBTENCION DE DATOS DE LUZ NATURAL

Para el aprovechamiento de luz natural en un diseño de iluminación es el conocimiento de la disponibilidad de luz exterior, tanto en sus niveles como en sus períodos de duración, de acuerdo a las horas del día y a las estaciones del año, sin embargo son muy pocos los países en el mundo en donde se toman registros de luz natural en forma regular.

Los modelos de predicción que han sido desarrollados tienen las siguientes aplicaciones:

- A.-Establecer condiciones de diseño, que se utilizan en el desarrollo de herramientas simples de diseño, o bien para establecer un cielo de diseño.
- B.- Establecer una evaluación hora-hora del recurso que luego sea introducido en herramientas complejas de simulación de consumos de energía en edificios tales como el Radiance, Energy-10, Aidolux, Dialux 1-2-3, etc.
- C.- Establecer promedios horarios de disponibilidad del dato en forma tabulada para el uso de arquitectos, ingenieros y diseñadores de sistemas de iluminación.
- D.- Como una herramienta de investigación que ayude a comprender el recurso de luz natural y el desarrollo de nuevas maneras de evaluar los sistemas de iluminación solar.

3.5.1. MODELOS DE VALIDEZ DE ILUMINANCIA EXTERIOR

El procedimiento de cálculo utilizado a partir de datos locales o regionales tabulados para evaluar el recurso y determinar las condiciones de cielo sólo puede realizarse en las localidades donde se ha

medido y está disponible (Robbins, 1986), obteniendo un modelo de probabilidad de luz solar diferenciado para condiciones de cielo claro y cubierto especificando horas del día, mes y año.

Esta solución no es factible, ya que muy pocas estaciones en el mundo proveen los datos climáticos locales o regionales en forma tabulada.

3.5.2. PROGRAMA INTERNACIONAL DE MEDICIONES DE ILUMINACION NATURAL

La CIE²⁸ designó a 1991 como el año internacional de la medición de la luz natural, estableciendo tres categorías de estaciones de medición. *Básica, General y de Investigación*. En las dos primeras categorías las principales cantidades medidas son iluminancia y radiación, mientras que en la Investigación, se realiza una recolección continua de la distribución de luminancia de cielo, así como de iluminancia, radiación y otros datos meteorológicos (Tregenza 1987, Dumortier 1998).

3.5.3. MODELOS DE PREDICCIÓN GENERALES

Un modelo de predicción de iluminancia es aquel que puede otorgar información acerca de la cantidad de iluminancia exterior que llega a una superficie de determinada orientación, en un intervalo de tiempo (generalmente horario), basándose en las mediciones y cálculos de aquellas condiciones climáticas que afectan la disponibilidad de la luz natural.

Siendo así, el modelo podría aplicarse a cualquier localidad, simplemente introduciendo los datos climáticos necesarios.

En muchos de estos modelos, la iluminancia global (EG) que llega a una determinada superficie está compuesta por la Iluminancia directa (ED), la Iluminación difusa (ed) y la Iluminancia reflejada por el suelo (eg):

$$EG = ED + ed + eg$$

Si la superficie sobre la que se realiza el cálculo es horizontal, no se incluye la correspondiente componente reflejada por el suelo.

²⁸ Commission Internationale de L'Éclairage, CIE, 1991

La mayor distinción entre los modelos se encuentra en si han sido formulados para cielos claros, parcialmente nublados o cubiertos.

3.6 TRATAMIENTO CUANTITATIVO DE LA LUZ NATURAL.

La iluminación de un interior es cuantificada por la iluminancia en el Plano de Trabajo. El Plano de Trabajo de referencia es un plano ficticio, horizontal, vertical o con una determinada inclinación (dependiendo de uso que se le dará al local : oficina, aula, museo, etc.) formado por una red de puntos equidistantes y de una altura correspondiente con la función (por ejemplo .80m para oficinas).

Los procedimientos para calcular la iluminación interior en cada uno de los puntos de la red del Plano de Trabajo, proveniente de fuentes naturales han sido propuestos por diferentes países desde hace más de 90 años (Fontoynt, 1998).

3.6.1. METODOS

En la actualidad se pueden clasificar en dos:

- **METODOS QUE PROVEEN ILUMINANCIA RELATIVA.** Los métodos de análisis que determinan la iluminancia relativa, le permiten al diseñador hacer una predicción del porcentaje de Luz Natural exterior que es utilizada para iluminar el interior analizado. La iluminancia relativa es frecuentemente percibida como una constante que no varía con la hora del día ni con la orientación de la abertura (Factor de Luz Natural)
- **METODOS QUE PROVEEN VALORES ABSOLUTOS DE ILUMINANCIA INTERIOR.** Con éste método el diseñador puede hacer una predicción de la cantidad de iluminación interior provista por la Luz Natural en cada punto considerado del local. La iluminancia absoluta varía con el tiempo (hora, mes, estación), con la orientación de la abertura, y con las condiciones de cielo (claro, parcialmente nublado y cubierto).

3.6.2. FACTOR DE LUZ NATURAL

Este método ha sido desarrollado para condiciones de cielo nublado, pues la iluminancia relativa es una constante, lo que no ocurre bajo condiciones de cielo claro. El Factor de Luz Natural (FLN) es la relación

entre la iluminancia en un punto interior (E_i) y la iluminancia horizontal en una superficie exterior no obstruida (E_e) medidas en forma simultánea, de manera que:

$$FLN = (E_i / E_e) \times 100$$

Obteniéndose:

$$E_i = (FLN / 100) \times E_e$$

Como la iluminación externa está en constante cambio, la iluminación interior la acompaña, de manera que la iluminancia cambia su valor en el tiempo t :

$$E_i(t) = (FLN / 100) \times E_e(t)$$

En ésta ecuación el término $E_e(t)$ representa el aporte del cielo como luminaria y el término $FLN / 100$ depende del diseño arquitectónico.

El Factor de Luz Natural es una expresión de la eficacia de utilizar la luz del cielo para proveer iluminancia horizontal en un interior, es decir que este factor indica en qué medida el edificio y su interior-muros-plafón, así como las obstrucciones externas, restringen la potencial disponibilidad de iluminancia.

El FLN considera los tres componentes siguientes:

- **A.- La componente del cielo (C_c):** es la proporción de la luz que aporta de la proporción de cielo que “ve” el punto interior donde se calcula la iluminancia.
- **B.- La componente reflejada del exterior (C_{re}):** es la proporción de la luz reflejada que llega al punto interior donde se calcula la iluminancia desde todas las superficies del exterior.
- **C.- La componente reflejada del interior (C_{ri}):** es la proporción de luz reflejada que llega al punto interior donde se calcula la iluminación desde todas las superficies interiores.

$$FLN = C_c + C_{re} + C_{ri}$$

El Factor de Luz Natural cuantifica todos los efectos del exterior y del interior en la iluminancia de un punto interior considerando, siendo una función de:

- La posición de un punto considerado
- Las dimensiones interiores
- Las reflectancias de las superficies interiores

- La localización, tamaño y estructura de la abertura
- La localización, tamaño y reflectancias de las obstrucciones externas
- Las reflectancias del suelo.

-

El desarrollo preliminar del diseño de espacios, el criterio visual interior y los requerimientos básicos de iluminación deben ser definidos apriori, teniendo en cuenta la luz natural del entorno en un sitio dado como un requerimiento para realizar los cálculos de valores absolutos y relativos de luz natural. Es fundamental el conocimiento de la cantidad, duración y características de la luz natural.

3.6.3 MEDICIONES EN MODELOS A ESCALA.

La evaluación de la luz natural en modelos a escala²⁹ es muy utilizada porque además de permitir un análisis cuantitativo (valores interiores medidos) otorga datos cualitativos de la distribución de la iluminancia interior. La luz no tiene dimensión a escala, por lo tanto, los valores de iluminancia medidos en maqueta serán los mismos que se registrarán en el área de interés. El único factor de posible distorsión está referido a las reflectividades de las superficies interiores, es decir que habrá que utilizar en el interior de las maquetas superficies con valores de reflexión similares a los que se utilizarán para pintar el espacio en la realidad.

La evaluación en modelos a escala puede realizarse bajo una bóveda celeste natural o en el cielo artificial. Este último permite sólo estudiar configuraciones comparativas, ya que no permite el análisis de la presencia estacional del sol. En general, los cielos artificiales reproducen las condiciones exteriores similares de las de la bóveda celeste uniformemente cubierta.

Para medir la cantidad de luz en maquetas se utiliza un luxómetro, midiendo a la altura del plano de trabajo, o bien con varios sensores de lectura simultáneos.

Para poder establecer los valores de FLN pueden realizarse mediciones de iluminancia exterior e interior simultáneas.

3.6.4 MODELOS MATEMATICOS

Los modelos matemáticos ofrecen ventajas en su modo de obtener los valores de iluminación interior:

²⁹ Pattini y otros, 1993)

- Permiten un análisis rápido de varias configuraciones de aperturas para modificar o verificar diferentes conceptos de diseño, incluyendo la forma del lugar, el tamaño de ventanas, la orientación de las aberturas y otras variables.
- La mayoría de las técnicas de modelización matemática están disponibles en programas computacionales comerciales.
- Pueden utilizarse para determinar el rendimiento de los sistemas de iluminación (natural y artificial) en un período de tiempo determinado, con posibilidad de visualizar los ambientes interiores)³⁰.

Las desventajas que tiene son las siguientes:

- Las simplificaciones asumidas por los modelos matemáticos utilizados como herramientas simples de diseño a menudo limitan el uso y reducen su exactitud y precisión en comparación con el comportamiento del edificio o respecto a un modelo a escala.
- Los modelos matemáticos más avanzados utilizan el método de transferencia de flujo del que es imposible un cálculo manual.
- Las técnicas de modelización matemática están limitadas por el número de casos que han sido estudiados para desarrollar el modelo matemático.

Los trabajos de cálculos lumínicos basados en modelos matemáticos pueden hoy ser realizados con un importante número de simuladores que se ajustan a cada necesidad de respuesta, pero el debate sobre la validación del simulador que se debe utilizar se centra en conocer si los mismos parten de datos que sean válidos para calcular los aportes en las condiciones similares en donde se emplazarán los edificios.

Como dato general, se puede decir que ninguno de ellos tiene el grado de precisión que puede lograrse con evaluaciones en modelos a escala. Pero son de gran utilidad en las etapas de prediseño y evaluación comparativa de estrategias. Esto es importante conocerlo, sobre todo en climas soleados, en los que conviene manejar con mayor grado de ajuste los diferentes aspectos que intervienen en los sistemas de iluminación natural para evitar en la práctica posibles situaciones de discomfort térmico y/o deslumbramientos.

Los programas más utilizados como herramientas de predicción son: SuperLite y Radiance desarrollados por el Laboratorio Lawrence Berkeley de California, Estados Unidos, Lumen Micro de Lighting Technologies y el Genelux desarrollado en Francia.

³⁰ Pattini, A, Fuentes G., et al, (1998). Luz Natural e Iluminación de Interiores., Manual de Arquitectura Bioclimática, Capítulo 10, ISBN 950-43 ...

CAPITULO 4

SISTEMAS DE ILUMINACION NATURAL

4.1. SISTEMAS DE ILUMINACION NATURAL

4.1.1. SISTEMAS Y DESARROLLOS RECIENTES.

4.2. CLASIFICACION DE LOS SISTEMAS DE LUZ NATURAL

4.2.1. DE ACUERDO A SU UBICACION.

4.2.2. CARACTERÍSTICAS SEGUN SU FUNCION

4.2.3. CARACTERISTICAS SEGUN SU RENDIMIENTO

4.2.4. CARACTERISTICAS GENERALES

4.3. AGRUPACIÓN DE SISTEMAS DE ILUMINACION NATURAL

4.3.1. POR FAMILIAS EN ORDEN ALFABETICO.

4.3.2. FAMILIAS DEL SISTEMA AL 100% DE PENETRACION PROFUNDA DE LA LUZ

4.3.3. FAMILIAS DEL SISTEMA AL 100% DE REDUCCION DE DESLUMBRAMIENTOS.

4.3.4. FAMILIAS DEL SISTEMA AL 100% DE CONTROL DE GANANCIAS SOLARES

4.3.5. FAMILIAS DEL SISTEMA AL 100% DE INCREMENTO DE PRIVACIDAD.

4.3.6. FAMILIAS DEL SISTEMA AL 50% DE PENETRACIÓN PROFUNDA Y 50% DE REDUCCION DE DESLUBRAMIENTO.

4.3.7. FAMILIAS DEL SISTEMA AL 50% DE PENETRACION PROFUNDA Y 50% DE CONTROL DE GANANCIAS SOLARES.

4.3.8. FAMILIAS DEL SISTEMA AL 50% DE CONTROL DE GANANCIAS SOLARES Y 50% DE REDUCCION DE DESLUMBRAMIENTOS.

4.3.9. FAMILIAS DE SISTEMAS AL 33% DE PENETRACION PROFUNDA DE LUZ, 33% DE CONTROL DE GANANCIAS SOLARES Y 33% DE REDUCCION DE DESLUMBRAMIENTO

4.3.10. FAMILIAS DE SISTEMAS AL 33 % DE INCREMENTO A LA PRIVACIDAD, 33% DE CONTROL DE GANANCIAS SOLARES Y 33% DE REDUCCION DE DESLUMBRAMIENTOS.

4.3.11. FAMILIAS DE SISTEMAS AL 25% DE PENETRACION PROFUNDA DE LUZ, 25% DE CONTROL DE GANANCIAS SOLARES, 25% DE REDUCCION DE DESLUMBRAMIENTOS Y 25% DE INCREMENTO DE PRIVACIDAD.

4.1. SISTEMAS DE ILUMINACION NATURAL

Un sistema de iluminación natural es el conjunto de componentes que en un edificio o construcción se utilizan para iluminar con luz natural.

4.1.1.- SISTEMAS Y DESARROLLOS RECIENTES

La cantidad, calidad y distribución de la luz interior depende del funcionamiento conjunto de los sistemas de iluminación, de la ubicación de las aberturas y de las superficies envolventes.

En la clasificación de los diferentes sistemas de iluminación natural, podemos ver que se pueden ejercer varios criterios que dependen directamente de diferentes aspectos: funcionalidad, tamaño del sistema, posición en el edificio o materiales y sus propiedades ópticas.

La posición de los sistemas de iluminación natural requerida en cada edificio, está asociada al tamaño y ubicación dentro de la envolvente de los edificios. Por ejemplo si el sistema está ubicado en la azotea, patio o fachada o está integrado en la propia estructura como fachada acristalada, ensamblada o trabaja como un volumen independiente fuera de la envolvente del edificio, son factores directamente proporcionales al tipo y tamaño de los materiales.

Estableciendo como criterio evaluar las categorías según sus propiedades de función óptica. Las cuales están altamente ligadas a las características apreciativas generales como forma, apariencia, medida, materiales e integración a las estrategias de solución en el concepto de edificio.

4.2. CLASIFICACION DE LOS SISTEMAS DE LUZ NATURAL

4.1.1.- DE ACUERDO A SU UBICACION

Básicamente son tres los tipos de iluminación utilizados en las soluciones en los edificios:

- **A.- ILUMINACION LATERAL.** La luz llega desde una abertura ubicada en un muro lateral, y es por eso que la iluminación del plano de trabajo cercano a la ventana tiene un nivel alto y aporta en forma importante a la iluminación general. La luz que ingresa depende fundamentalmente de la orientación del muro.

- B.- ILUMINACION CENITAL. Se utiliza generalmente en las localidades con predominio de cielos nublados. El plano de trabajo es iluminado directamente desde la parte más luminosa de estos tipos de cielos, el cenit.
- C.- ILUMINACION COMBINADA. Hay aperturas en muros y techos. En un interior donde la envolvente no está claramente dividida en muros y techos, por ejemplo en cerramientos abovedados, se le considera como iluminación lateral si la abertura es más baja que 2.5m; por encima de esta altura se considera iluminación cenital.

4.2.1.-CARACTERISTICAS SEGUN SU FUNCION

Todos los dispositivos usados para iluminar naturalmente están estructurados en tres estados:

- A.-CAPTACION-CONCENTRACION. Fase en que la luz llega a la superficie del vidrio.
- B.-CONDUCCION. Fase en la cual la luz es transmitida hacia otro medio
- C.-DISTRIBUCIÓN FILTRACION. Fase en la cual la luz pasa transversalmente hacia un segundo medio

Estos tres aspectos se pueden solucionar físicamente a través de las diferentes partes del sistema, en la totalidad o en parte de ellas, o finalmente pueden solucionarse en el mismo espacio físico del sistema. Suele suceder que materiales, propiedades ópticas, tamaño y configuración del sistema pueden estar disasociados de una solución a otra.

4.2.2. CARACTERISTICAS SEGUN SU RENDIMIENTO

El primer paso para generar ésta lista fue pensar acerca de las principales características de rendimiento que los sistemas de control de luz tienen desde un punto de vista de la aplicación en arquitectura y se encontraron que había cuatro funciones principales:

- A.- PENETRACION DE LUZ A PROFUNDIDAD.
- B.- CONTROL DE GANANCIAS SOLARES.
- C.-REDUCCION DEL DESLUMBRAMIENTO.
- D.-INCREMENTO DE LA PRIVACIDAD.

4.2.3. CARACTERISTICAS GENERALES

La siguiente lista consiste en la determinación de características generales que influyen en los sistemas:

- A.- UBICACION.- Aquí se determina si el sistema es aplicado en la fachada como “acristalamiento”, o si está en una “capa separada”. Esto implica su utilización ya sea en múltiples capas, o como una sola capa independiente y no integrada a la envolvente del edificio.
- B.-FASE DE APLICACION. El usuario determina si el sistema se va a usar en un “nuevo” edificio o para ser aplicado en un edificio existente a “remodelar”. La mayoría de las tecnologías están preparadas para ser aplicadas en las dos opciones dentro del proceso de diseño global del edificio. El diseño de la integración de la luz natural al edificio muchas veces se concibe cuando el edificio ya está espacialmente integrado. Por ésta razón se hace indispensable su flexibilidad y universalidad.
- C.-TRANSPORTE DE LUZ. Se determina si la tecnología debe proveer de luz de día a “través de la piel” o por medio de “transporte remoto”; y si se introduce como “iluminación lateral” o “cenital” Aquí se tiene la oportunidad de decidir acerca de la dirección de la cual el usuario espera recibir la iluminación (lateral o cenital) y si el rendimiento esta contenido en la piel del edificio o necesita un medio de canalización no contenido en la propia envolvente.
- D.-PROCESAMIENTO DE LA LUZ. Se puede escoger las funciones del rendimiento de la interacción luminosa determinando si lo que es necesario es “redirigir” la luz, “filtrarla espectralmente”, producir energía o “bloquear” la luz directa.
- E.-CARACTER. Se puede escoger el consultar sistemas en los cuales la operación es “estática”, “manual dinámica”, “automatizada dinámica” y/o “pasiva dinámica”. Esta categoría permite filtrar el camino en el cual el usuario quiere controlar la tecnología. Aquí el usuario debe estar atento acerca de las implicaciones de escoger un sistema dinámico. lo que implica un alto costo y mantenimiento pero permite flexibilidad en el rendimiento, contra un sistema estático.
- F.-PERCEPCION. Se determina la importancia de la percepción visual que la tecnología debe presentar; seleccionando “visión clara”, lo que implica que una completa visibilidad es requerida, “visión parcial” informa acerca de tener alguna proporción de impedimento en la visibilidad a través del sistema, “fuera de la vista” implica que la tecnología no está interfiriendo con el área de vistas de la envolvente, y “libre de color” implica que el sistema no evidencia ningún rendimiento de color en la propia envolvente o proyectada hacia el interior de la habitación.

- **G.-FASE DE DESARROLLO.** Se selecciona el ver productos que estan ya “comercializados” o productos que están en una fase de prototipo. Esta categoría ha sido establecida en orden de informar los productos viables en ambas fases por diversas razones. El primero está basado en la creencia que aunque el contar con un producto comercializado que está inmediatamente disponible y listo para ser aplicado es primordial, también es necesario conocer acerca de qué se esta desarrollando para tener una idea de la dirección que las investigaciones en éste campo están tomando. Desde el punto de vista de los arquitectos, en muchos casos hay prototipos perfectamente implementados y trabajando en edificios que no han sido comercializados, pero esto no significa que la tecnología no este lista para trabajar. Es importante conocer acerca del marco de trabajo en el cual éstas tecnologías son desarrolladas, brindar cercanía entre la investigación y los arquitectos.

4.3. AGRUPACION DE SISTEMAS DE ILUMINACION NATURAL

Un factor determinante para configurar los diferentes tipos de familias fue el cumplimiento de la siguiente condición: que todos los elementos que pertenezcan a la misma familia deben cumplir con el mismo grupo de capacidades. Haciendo de esto, familias que estén conteniendo productos en los cuales no tengan los mismos atributos tendrán que ser inmediatamente divididas en dos familias.

4.3.1. POR FAMILIAS EN ORDEN ALFABETICO.

En base a una agrupación de todos los productos en conjuntos de familias éstos se agrupan por orden alfabético de la siguiente manera:

1.- Fase activa cambio en el acristalamiento.

Active Phase Change Glazings (SPD Systems, Chromogenics Electrochromic Glass, Sage Electrochromic Glass, ISE Electrochromic Glass, ISE Gasochromic Glass, Flabeg Gasochromic Glass)

2.-Fase activa cambio de espejos.

Active Phase Change Mirrors (Switchable Mirror)

3.- Películas antirreflejantes.

Antireflective Films (RPI Antireflective Coatings, CONTURAN SCHOTT, AMIRAN Schott)

4.- Vidrio Claro de Conductor de Electricidad.

Clear Electricity Conducting Glass (PowerKontakt Schott)

5.- Películas transparentes de celdas solares.

Clear Solar Cell Films (AIST Transparent Solar Cells, Toshiba Transparent Solar Cells, ISE Transparent Solar Cells, Sphelar Solar Cells, RWE Schott ASI Solar Glazing)

6.- Películas de color de celdas solares.

Colored Solar Cell Films (DTI Dye-Sensitive Solar Cells, Ohio-State University Dye-Sensitive Solar Cells, ISE Dye-Sensitive Solar Cells)

7.- Cristales Difusores.

Diffusing Glazing (Kapilux Capillary Panel, Panelite, Linit THI, Profilit, Kalwall Panel, Solera Panel, Okagel, Figla Diffusing Panel, Okapane Panel, Opalilka Schott, General Glass Acid-etched Sandblasted Glass)

8.- Persianas de Tela.

Fabric Blinds (Baumann Hüppe Fabric Shade, Mechoshade Shades, Halcyon Shades, Draper Shades, Lutron Electronics Shading Solutions, Hunter Douglas Window Shades, Warm Window Insulated Shade System)

9.-Persianas Guiadoras de Luz Natural en Fachadas.

Façade Sunlight Blinds (Anidolic Integrated Systems, Light Guiding Shades)

10.-Fachadas de Persianas Solares.

Façade Sunlight Blinds (Anidolic Blinds)

11.- Cristales con Persianas con Ángulos de Contrtol Óptico.

Fixed Light Guide Blinds (Light Louver System, Okasolar)

12.- Acristalamiento Fluidizado.

Fluidized Glazings (Multifunctional Fluidized Glass Façade)

13.- Lentes Fresnel.

Fresnel Lenses (Generic Fresnel Lenses)

14.-Espejos Cóncavos.

Heliostats (Lightron, Bartenbach EU Project)

15.-Persianas Venecianas de Control Solar.

Light Blocking Venetian Blinds (Warema External Venetian Blinds, Warema Internal Venetian Blinds, Baumann Hüppe Venetian Blinds, Genius Slats for Venetian Blinds, ISE)

16.- Películas Refractoras de Luz.

Light Diffracting Films (Holographic Film)

17.-Cristales Reflejantes de Luz.

Light Emitting Glazings (Lumiwall Sharp, Veluna)

18.-Películas Refractoras de Luz.

Light Guiding Embedded Blinds (Ecklite Panel, Vision Control Panel, Retroflex, RetroFlexTherm)

19.-Fachadas con Guías de Luz.

Light Guiding Façade (Photoconductive Façade Project)

20.- Películas Conductoras de Luz.

Light Guiding Films (OLF, TRAF, BEF, Serraglaze, MikroFun Project)

21.-Cristales Conductores de Luz Natural-

Light Guiding Glazing (Light Channeling Panel, Lumitop, Heat Reflecting Glazing)

22.- Reflectores Guiadores de Luz.

Light Guiding Reflectors (FRE Guiding Ceilings, Chandeliers)

23.- Persianas Venecianas de Guías de Luz.

Light Guiding Venetian Blinds (Warema Light Guidance Blinds, Warema Daylight Optimized Venetian Blinds, RetroLux, RetroluxTherm)

24.- Protectores de Luz.

Light Shades (Generic Shades)

25.-Bandejas de Luz.

Light Shelves (Generic Shelves)

26.-Tragaluces con Paneles de Material Transparente con Cortes en Laser, Provocando Espejos.

Light Deflecting Skylights (Angular Selective Skylight Solartran, SunOptics Prismatic Skylights)

27.-Películas de Baja Emisividad.

Low Emissivity Films (Comfort E, AFG, Pilkington Energy Advantage Low-E Glass, Comfort TI, AFG)

28.-Cristales de Cambio de Fase Pasivos.

Passive Phase Change Glazing (CSICPhotochromic and Thermochromic Glass, ISE Photo- Electrochromic System, ZAO Metrobor Thermochromic Glass TLG, SRT Systems, Thermosee Glass)

29.-Películas con Cambio de Fase para control de Luz.

Phase Change Light Control Films (Privalite, Sage LC Glass)

30.- Tragaluces con Cambios de Fase.

Phase Change Skylight (Velux Sage Skylight)

31.- Paneles Prismáticos,

Prismatic Panels (Lorenz Prismatic Glass, Primasolar Glass Prismatic Panels, Architectural Glass Prismatic Tiles, Siteco Acrylic Prismatic Panels, Figla Acrylic Prismatic Panels)

32.- Películas Reflectantes.

Reflective Films (Generic Reflective Films)

33.- Películas de Celdas Reflejantes de Sol

Reflective Solar Cell Films (Nanosolar Printing Solar Film)

34.- Guías de Luz Natural a Distancia.

Remote Daylight Guides (Anidolic Ceilings)

35.- Tubos de Transporte de Luz a Distancia.

Remote Daylight Pipes (HUVCO High Performance Tubular Skylight, DayStar Systems, SunPort Skylights, Sun Dome Tubular Skylights, ODL Tubular Skylights, Solatube Solar Skylights, Sun Pipe Tubular Skylights, Sun-Tek Tube, Tru-Lite Tubular Skylight, Tubular Skylight)

36.- Colectores de Luz Natural a Distancia.

Remote Sunlight Collectors (UFO EU Project)

37.-Lentes y Espejos con Sensores de Movimiento.

Remote Sunlight Guides (Solar Canopy Illumination System, ADASI Project)

38.- Tubos de Transporte de Luz Natural a Distancia con Movimiento.

Remote Sunlight Pipes (Parans, Solar-Tracking Pipes, Ciralight Sun Tracker One, Natural Lighting, Active Daylighting System)

39.- Persianas Enrollables.

Roller Blinds (Warema Solar Ropller Shutter, Baumann Hüpper Roller Shades)

40.- Acristalamiento con Pantallas Decoradas.

Silk-Screened Glazing (Viracon Frit Glass, AFG Frit Glass)

41.- Tragaluces.

Skylights (Velux Skylight, So-Luminaire: Advanced Daylighting System, Wasco Lumiduct Skydome Daylight Harvesting System)

42.-División Interior de Persianas Verticales.

Split Interior Vertical Blinds (Warema Vertical Louver Blinds with Daylight Function)

43.-Películas de Control Solar.

Sun Control Films (Hanita Solar Films, Solar Gard Solar Films, 3M Scotchtint Films, V-Kool Window Film)

44.-Acristalamiento con Control Solar.

Sun Control Glazings (Solgel, Mirona Semi-Transparent Mirrored Glass Schott, ISE Satin Glass with Solar Control, Solar Control Microstructure with Gasochromically Switchable Facets, ISE-COC Sun-Shading Structures, Solar Glass AFG, Solartex AFG, Stopsol AFG, Heat Mirror Glass Alpen Glass, Superglass Quad with Heat Mirror, IQ Glass, Heating Glass, PPG Solar Glass)

45.- Pantallas de Control Solar.

Sun Control Screens (Micro Sun Shield Lkouver, Ecosse Louver Panel, Ecosse Honeycomb Panel, Okatech)

46.- Películas Protectoras de Sol.

Sun Shading Films (Holographic Beam Homogenizer)

47.-Cristales Entintados.

Tinted Glazings (Generic Tinted Glazings)

48.- Películas Protectoras Solares.

Translucent Solar Cell Glazings (SolFocus Translucent Photovoltaic Panel, MSK-Photovol Glass (semi-transparent))

49.- Bloques de Vidrio.

Vault Lights (Luxcrete Rooflights, UK Pavement Lights)

50.- Películas de Control Visual.

View Control Films (Madico-Lumisty Film, View Directional Selective Film)

51.- Películas con Bandas de Ondas Específicas.

Waveband Specific Films (Polarizers, Dichroic Films)

52.- Acristalamiento con Bandas de Ondas Específicas.

Waveband Specific Glazings (Photonic Crystals, IR Absorbent Glass, UV Transparent Glass, Schott X-ray Protectionn Glass RD 50 / RD 30.

4.3.1. PENETRACION PROFUNDA DE LA LUZ

El siguiente listado se hará de acuerdo a su rendimiento; es decir si su vocación es sobre la Penetración de Luz Profunda, o se enfoca más al control de Ganancias Solares; o sobre Reducción del Deslumbramiento; o por último si Incrementan la Privacidad

4.3.2.1. FAMILIAS DE SISTEMAS AL 100% DE PENETRACION PROFUNDA DE LUZ

9.-Persianas Guiadoras de Luz Natural en Fachadas.

Façade Sunlight Blinds (Anidolic Integrated Systems, Light Guiding Shades)

14.- Espejos Cóncavos.

Heliostats (Lightron, Bartenbach EU Proyect)

22.- Reflectores Guiadores de luz

Light Guiding Reflectors (FRE Guiding Ceilings, Chandeliers)

34.-Guías de Luz Natural a Distancia.

Remote Daylight Guides (Anidolic Ceilings)

35.- Tubos de Transmisión de Luz a Distancia.

Remote Daylight Pipes (HUVCO High Performance Tubular Skylight, DayStar Systems, SunPort Skylights, Sun Dome Tubular Skylights, ODL Tubular Skylights, Solatube Solar Skylights, Sun Pipe Tubular Skylights, Sun-Tek Tube, Tru-Lite Tubular Skylight, Tubular Skylight)

36.- Colectores de Luz Natural a Distancia.

çRemote Sunlight Collectors (UFO EU Project)

37.- Lentes y Espejos con sensores de Movimiento.

Remote Sunlight Guides (Solar Canopy Illumination System, ADASI Project)

38.-Tubos de Transporte de Luz Natural a Distancia con Movimiento.

Remote Sunlight Pipes (Parans, Solar-Tracking Pipes, Ciralight Sun Tracker One, Natural Lighting, Active Daylighting System)

41.- Tragaluces.

Skylights (Velux Skylight, So-Luminaire: Advanced Daylighting System, Wasco Lumiduct Skydome Daylight Harvesting System)

49.- Bloques de Vidrio.

Vault Lights (Luxcrete Rooflights, UK Pavement Lights)

4.3.2.2. FAMILIAS DE SISTEMAS AL 100% DE REDUCCION DE DESLUMBRAMIENTOS

3.- Películas antireflejantes.

Antireflective Films (RPI Antireflective Coatings, CONTURAN SCHOTT, AMIRAN Schott)

4.3.2.3. FAMILIAS DE SISTEMAS AL 100% DE CONTROL DE GANANCIAS SOLARES.

4.- Vidrio Claro de Conductor de Electricidad.

Clear Electricity Conducting Glass (PowerKontakt Schott)

5.- Películas transparentes de celdas solares.

Clear Solar Cell Films (AIST Transparent Solar Cells, Toshiba Transparent Solar Cells, ISE Transparent Solar Cells, Sphelar Solar Cells, RWE Schott ASI Solar Glazing)

6.- Películas de color de celdas solares.

Colored Solar Cell Films (DTI Dye-Sensitive Solar Cells, Ohio-State University Dye-Sensitive Solar Cells, ISE Dye-Sensitive Solar Cells)

27.- Películas de Baja Emisividad.

Low Emissivity Films (Comfort E, AFG, Pilkington Energy Advantage Low-E Glass, Comfort TI, AFG)

43.-Películas de Control Solar.

Sun Control Films (Hanita Solar Films, Solar Gard Solar Films, 3M Scotchtint Films, V-Kool Window Film)

51.- Películas con Bandas de Ondas Específicas

Waveband Specific Films (Polarizers, Dichroic Films)

52.- Acristalamiento con Bandas de Ondas Específicas.

Waveband Specific Glazings (Photonic Crystals, IR Absorbent Glass, UV Transparent Glass, Schott X-ray Protectionn Glass RD 50 / RD 30.

4.3.2.4. FAMILIAS DE SISTEMAS AL 100% DE INCREMENTO DE PRIVACIDAD.

50.- Películas de Control Visual.

View Control Films (Madico-Lumisty Film, View Directional Selective Film)

4.3.2.5. FAMILIAS DE SISTEMAS AL 50% DE PENETRACION PROFUNDA DE LUZ Y 50% DE REDUCCION DE DESLUMBRAMIENTOS.

10.-Fachadas de Persianas Solares.

Façade Sunlight Blinds (Anidolic Blinds)

11.- Cristales con Persianas con Ángulos de Contrtol Óptico.

Fixed Light Guide Blinds (Light Louver System, Okasolar)

13.-Lentes Fresnel.

Fresnel Lenses (Generic Fresnel Lenses)

20.- Películas Conductoras de Luz.

Light Guiding Films (OLF, TRAF, BEF, Serraglaze, MikroFun Project)

26.- Tragaluces con Paneles de Material Transparente con Cortes en laser, Provocando Espejos.

Light Deflecting Skylights (Angular Selective Skylight Solartran, SunOptics Prismatic Skylights)

4.3.2.3. FAMILIAS DE SISTEMAS AL 50% DE PENETRACION PROFUNDA DE LUZ Y 50% DE CONTROL DE GANANCIAS SOLARES.

39.- Persianas Enrollables.

Roller Blinds (Warema Solar Ropller Shutter, Baumann Hüpper Roller Shades)

4.3.2.4. FAMILIAS DE SISTEMAS AL 50% CONTROL DE GANANCIAS SOLARES Y 50% DE REDUCCION DE DESLUMBRAMIENTOS.

12.- Acristalamiento Fluidizado.

Fluidized Glazings (Multifunctional Fluidized Glass Façade)

45.- Pantallas de Control Solar.

Sun Control Screens (Micro Sun Shield Lkouver, Ecosystem Louver Panel, Ecosystem Honeycomb Panel, Okatech)

4.3.2.5. FAMILIAS DE SISTEMAS AL 50% CONTROL DE GANANCIAS SOLARES Y 50% DE REDUCCION DE DESLUMBRAMIENTOS.

17.- Cristales Reflectores de Luz

Light Emitting Glazings (Lumiwall Sharp, Veluna)

29. Películas con Cambio de Fase para Control de Luz.

-Phase Change Light Control Films (Privalite, Sage LC Glass)

4.3.2.6. FAMILIAS DE SISTEMAS AL 33% DE PENETRACION PROFUNDA DE LUZ Y 33% DE CONTROL DE GANANCIAS SOLARES Y 33% DE REDUCCION DE DESLUMBRAMIENTOS.

21.- Cristales Conductores de Luz Natural.

Light Guiding Glazing (Light Channeling Panel, Lumitop, Heat Reflecting Glazing)

24.- Protectores de Luz

Light Shades (Generic Shades)

25.-Bandejas de Luz.

Light Shelves (Generic Shelves)

18.-Películas Refractoras de Luz

Light Guiding Embedded Blinds (Ecklite Panel, Vision Control Panel, Retroflex, RetroFlexTherm)

48.- Películas Protectoras Solares.

Translucent Solar Cell Glazings (SolFocus Translucent Photovoltaic Panel, MSK-Photovol Glass (semi-transparent))

4.3.2.7. FAMILIAS DE SISTEMAS AL 33% DE INCREMENTO A LA PRIVACIDAD Y 33% DE CONTROL DE GANANCIAS SOLARES Y 33% DE REDUCCIÓN DE DESLUMBRAMIENTOS.

1.- Fase activa cambio en el acristalamiento.

Active Phase Change Glazings (SPD Systems, Chromogenics Electrochromic Glass, Sage Electrochromic Glass, ISE Electrochromic Glass, ISE Gasochromic Glass, Flabeg Gasochromic Glass)

2.-Fase activa cambio de espejos.

Active Phase Change Mirrors (Switchable Mirror)

15.- Persianas Venecianas de Control Solar.

Light Blocking Venetian Blinds (Warema External Venetian Blinds, Warema Internal Venetian Blinds, Baumann Hüppe Venetian Blinds, Genius Slats for Venetian Blinds, ISE)

28.-Cristales de Cambio de Fase Pasivos

Passive Phase Change Glazing (CSICPhotochromic and Thermochromic Glass, ISE Photo- Electrochromic System, ZAO Metrobor Thermochromic Glass TLG, SRT Systems, Thermosee Glass)

32.-Películas Reflectantes.

Reflective Films (Generic Reflective Films) 33.- Reflective Solar Cell Films (Nanosolar Printing Solar Film)

40.- Acristalamiento con Pantallas Decoradas.

Silk-Screened Glazing (Viracon Frit Glass, AFG Frit Glass)

42.-División Interior de Persianas Verticales.

Split Interior Vertical Blinds (Warema Vertical Louver Blinds with Daylight Function)

44.-Acristalamientos con Control Solar.

Sun Control Glazings (Solgel, Mirona Semi-Transparent Mirrored Glass Schott, ISE Satin Glass with Solar Control, Solar Control Microstructure with Gasochromically Switchable Facets, ISE-COC Sun-Shading Structures, Solar Glass AFG, Solartex AFG, Stopsol AFG, Heat Mirror Glass Alpen Glass, Superglass Quad with Heat Mirror, IQ Glass, Heating Glass, PPG Solar Glass)

47.-Cristales Entintados.

Tinted Glazings (Generic Tinted Glazings)

48.-cristales Translúcidos de Celdas Solares.

Translucent Solar Cell Glazings (SolFocus Translucent Photovoltaic Panel, MSK-Photovol Glass (semi-transparent))

4.3.2.5. FAMILIAS DE SISTEMAS AL 25% DE PENETRACION PROFUNDA DE LUZ Y 25% DE CONTROL DE GANANCIAS SOLARES Y 25% DE REDUCCION DE DESLUMBRAMIENTOS y 25% DE INCREMENTO DE PRIVACIDAD.

7.- Cristales Difusores.

Diffusing Glazing (Kapilux Capillary Panel, Panelite, Linit THI, Profilit, Kalwall Panel, Solera Panel, Okagel, Figla Diffusing Panel, Okapane Panel, Opalilka Schott, General Glass Acid-etched Sandblasted Glass)

8.- Persianas de Tela.

Fabric Blinds (Baumann Hüppe Fabric Shade, Mechoshade Shades, Halcyon Shades, Draper Shades, Lutron Electronics Shading Solutions, Hunter Douglas Window Shades, Warm Window Insulated Shade System)

18.- Guías de Luz Integradas en las Ventanas.

Light Guiding Embedded Blinds (Ecklite Panel, Vision Control Panel, Retroflex, RetroFlexTherm)

19.- Fachadas con Guías de Luz.

Light Guiding Façade (Photoconductive Façade Project)

23.- Persianaw Venecianas de Guías de Luz.

Light Guiding Venetian Blinds (Warema Light Guidance Blinds, Warema Daylight Optimized Venetian Blinds, RetroLux, RetroluxTherm)

30.-Tragaluces con cambio de Fases.

Phase Change Skylight (Velux Sage Skylight)

31.- Paneles Prismáticos.

Prismatic Panels (Lorenz Prismatic Glass, Primasolar Glass Prismatic Panels, Architectural Glass Prismatic Tiles, Siteco Acrylic Prismatic Panels, Figla Acrylic Prismatic Panels)

4.4..DIFERENTES SISTEMAS DE TRANSPORTE DE LUZ NATURAL

4.2.1. TIPOS DE SISTEMAS.

Dentro de los sistemas de Transporte de Luz Natural se encuentran los “Lumiductos”; pero también están los sistemas de transporte de luz por Fibra Optica y los Revestimientos Anhidólicos, compuestos por lentes y parábolas de material reflejante.

Existe en la actualidad una importante oferta de mercado de sistemas de Lumiductos, desarrollados y aplicados en su mayoría por países desarrollados, como una respuesta eficiente en la reducción del consumo eléctrico de edificios comerciales principalmente.

La instalación de estos sistemas presenta una muy alta rentabilidad económica y energética, ya que por lo general se trata de sistemas equipados con motores de seguimiento solar (tracker), que captan la máxima cantidad de radiación posible a toda hora del día, con un consumo de entre 12V y 24V, alimentados por paneles fotovoltaicos asistidos por energía eléctrica.

Por otro lado, existe también la fabricación y aplicación de sistemas de “Lumiductos” pasivos, para instalaciones verticales u horizontales, cuya hora de mayor rendimiento en el día esta determinada por la radiación incidente en el momento y de acuerdo a las condiciones de cielo que se vayan presentando y el diseño de la fotometría del colector.

SISTEMAS DE TRANSPORTE DE LUZ NATURAL CON MOVIMIENTO

MARCA	DESCRIPCION	VENTAJAS	DESVENTAJAS	SISTEMA EN EL QUE SE APLICA
HIMAWARI	Sensor solar, motor de pasos y conjunto de lentes de Fresnel que dirige luz a través de fibra óptica. Modelos de 6 a 198 lentes	Máximo aprovechamiento del sol. Tipología de emisión similar a los focos eléctricos.	Tecnología y mantenimiento de costo muy elevado. Alto consumo eléctrico.	Espacios interiores. acuarios, cultivos interiores, spots, iluminación, etc.
SOLUX	Lente de Fresnel que dirige luz a través de guías con líquido	Máximo aprovechamiento del sol. Tipología de emisión similar a los focos eléctricos.	El líquido se filtra por las guías. Las bajas temperaturas congelan el líquido	German Museum of Technology de Berlin
LIGHTRON	Sistema de espejos con motor de pasos que dirige la luz a un punto elegido	Máximo aprovechamiento del sol. Ilumina grandes áreas interiores o exteriores.	Tecnología y mantenimiento de costo muy elevado. Alto consumo eléctrico. Alto grado de exposición al clima	Aeropuerto de Manchester Hedebgade, Dinamarca, National Museum Korea, Corea del Sur
KUZEIKA	Sistema de espejos con motor de pasos que dirige la luz a un punto elegido	Máximo aprovechamiento del sol. Ilumina grandes áreas interiores o exteriores.	Tecnología y mantenimiento de costo muy elevado. Alto consumo eléctrico. Alto grado de exposición al clima	Edificio de oficinas en el centro de la Ciudad de Viena, Austria.
SOLAR TRACKER	Espejo con motor de pasos que dirige la luz a un punto elegido	Máximo aprovechamiento del sol. Ilumina grandes áreas interiores o exteriores.	Tecnología y mantenimiento de costo muy elevado. Alto consumo eléctrico. Alto grado de exposición al clima	Labor für regenerative Energien, "Villa Sonnenschein", Fachhochschule für Wirtschaft & Technik, Alemania
SOLARIS	Cúpula acrílica con láminas internas giratorias y espejo redireccionador inferior adosado al sistema	Máximo aprovechamiento del sol. Reflector protegido, fácil instalación	Tecnología y mantenimiento de costo muy elevado. Alto consumo eléctrico. Alto grado de exposición vandálica	Espacios interiores. acuarios, cultivos interiores, iluminación comercial.
SO LIGHT	Cúpula acrílica con discos acrílicos facetados internos, giratorios	Máximo aprovechamiento del sol. Nivel de iluminación constante. Reflector protegido.	Necesidad de mantenimiento de piezas móviles. Consumo eléctrico	Uso Residencial, espacios interiores, cultivos interiores, iluminación comercial, etc.
HELIOBUS	Concentrador parabólico giratorio con forma de cuchara que redirige la luz a un conducto transportador reflexivo	Máximo aprovechamiento del sol. Rigidez estructural. Buena distribución interior de luz	Necesidad de mantenimiento de piezas móviles. Consumo eléctrico	Postdam Pace, Berlin; Proyecto piloto en Edificio Escolar. St.Gallen, Lightpipe Wiesengrund, Winterthur, Suiza

TABLA 4.1. TRANSPORTADORES DE LUZ NATURAL. FUENTE: FERRÓN, L., ET AL, (2005), DISPONIBILIDAD COMERCIAL DE SISTEMAS DE TRANSPORTE DE LUZ NATURAL, AVANCES DE ENERGÍAS RENOVABLES Y MEDIO AMBIENTE, VOL. 9 2005, ASADES,

SISTEMAS DE TRANSPORTE DE LUZ NATURAL

MARCA	DESCRIPCION	VENTAJAS	DESVENTAJAS	SISTEMA EN EL QUE SE APLICA
SOLA TUBE	Cúpula acrílica con pantalla reflectora interna que dirige la luz por un conducto	Rigidez estructural, fácil instalación, costo accesible	Rendimiento moderado, distancia de transmisión corta	Uso residencial, espacios interiores, iluminación comercial, etc.
ULTRA CON	Bloques o paneles de fibra de óptica compactada con concreto fino, de propiedades translúcidas, que transporta luz a los interiores	Solución a la iluminación natural de espacios desde la estructura misma de la arquitectura	Alto impacto sobre la imagen arquitectónica, puede perjudicar a la sensación de intimidad	Uso residencial, espacios interiores, iluminación comercial, etc.

Tabla 4.2. Transportadores de Luz Natural. Fuente Ferrón, L., ET.AL. 2005. Disponibilidad comercial de Sistemas de Transporte de Luz Natural, Avances de Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 9 2005, ASADES.

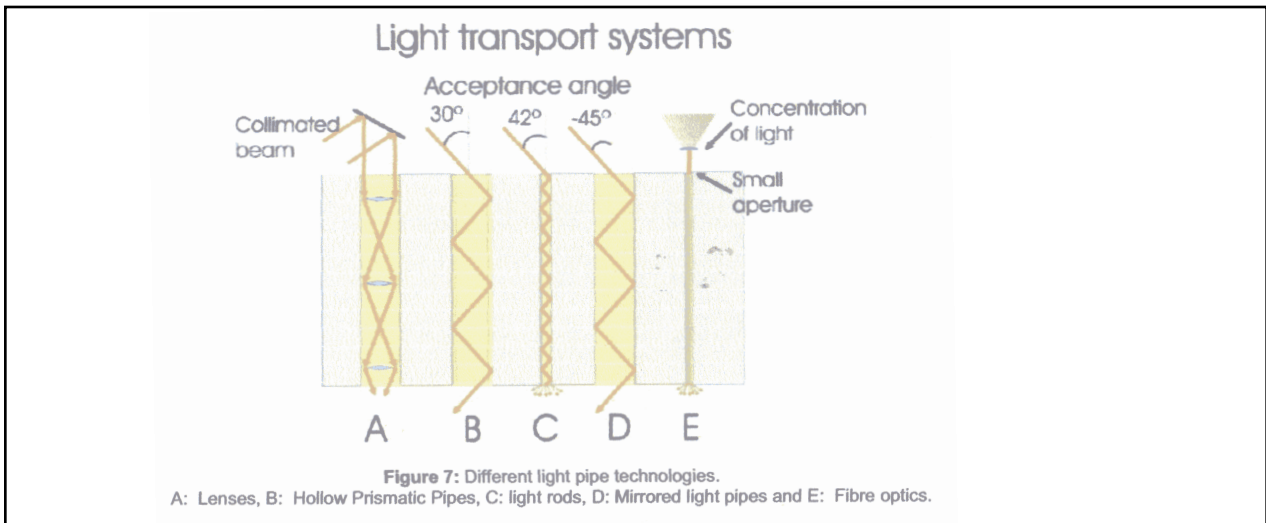


Fig. 4.1. 2003. FEER Asian Innovation Awards.

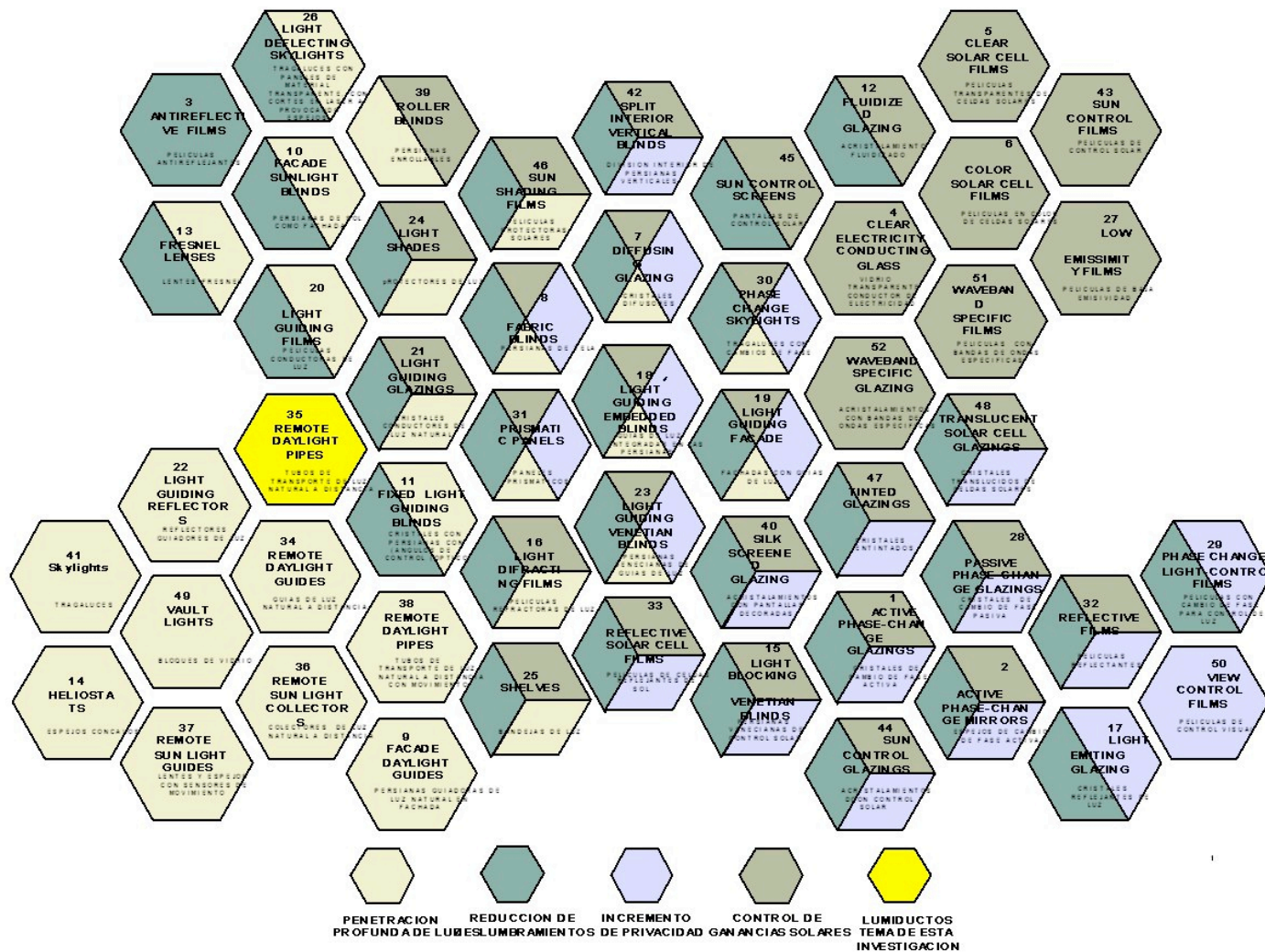


DIAGRAMA DE CATEGORIZACION DE SISTEMAS DE ILUMINACION NATURAL

1- Urbani, G. 2008. *Building Light Handbook: Natural Systems and Technologies*. John Wiley & Sons, Hoboken, NJ.

2- Petin, L., P. 2011. *La luz natural en el diseño de edificios*. Buenos Aires: Editorial de la Universidad de Buenos Aires.

CAPITULO 5

SISTEMA DE TRANSPORTE DE LUZ “LUMIDUCTOS”

5.1. ANTECEDENTES

5.2. CARACTERISTICAS

5.2.1. DESCRIPCION DEL SISTEMA

5.2.2. COMPONENTES DEL SISTEMA

5.2.3. MATERIALES

5.2.4. SUBSISTEMAS Y COMPONENTES DE TRANSPORTADORES DE LUZ NATURAL

5.3. COMPARACION ENTRE DOMOS Y LUMIDUCTOS

5.4. “LUMIDUCTOS SOLATUBE”

5.4.1. PRODUCTOS DESARROLLADOS

5.4.2. BENEFICIOS DE UTILIZAR LOS “LUMIDUCTOS”

5.5. EFICIENCIA DE LOS “LUMIDUCTOS”

5.6 EJEMPLOS DE APLICACION

5.6.1. PROTOTIPOS Y DESARROLLOS EXPERIMENTALES

5.6.2. NUEVOS PROYECTOS SUSTENTABLES

5.6.3. OBRAS NUEVAS

5.6.4. REMODELACIONES.

Para dar inicio con el análisis y evaluación de la eficiencia de los “Lumiductos” es necesario dar una definición acerca de ellos. **El “Lumiducto” o “Lightway” es un tubo que, por un sistema de captación de la luz natural en su interior, la transmite al interior del local por medio de un difusor”.** Este tubo permite la conducción y reflectancia de los rayos solares dentro del mismo; construido generalmente en aluminio y provisto en toda su superficie interna de espejos reflectantes. Su control de reflexión le ofrece la mayor luminosidad con una reflectancia del orden del 98% y un muy reducido porcentaje de difusión de los rayos solares”

Los espacios arquitectónicos en los edificios pueden ser clasificados como: espacios perimetrales y espacios interiores. Los primeros pueden ser iluminados con luz natural utilizando ventanas laterales, pero los segundos, generalmente no tienen buen acceso a la luz natural. Estos espacios sombríos no logran niveles aceptables de confort lumínico, quedan completamente desjerarquizados y con serios inconvenientes para los ocupantes desde el punto de vista de la ergonomía visual. Esta situación puede inducir a utilizar nuevos sistemas de iluminación natural.; uno de ellos los “Lumiductos”, son particularmente apropiados para iluminar locales en climas soleados, a pesar de esto no son usualmente utilizados ya sea por falta de conocimiento o de alguna manera por el costo inicial que implica.

En los edificios de oficinas de mediana y gran altura, la planta suele resolverse de manera abierta, donde el núcleo de circulaciones verticales ocupa una posición central o periférica, liberando así la mayor superficie como espacio de trabajo. Esto genera que existan áreas a más de 4m de distancia de las ventanas que requieren necesariamente iluminación artificial, por ser éste el límite de ingreso pasivo de la luz natural.

Por ello se han desarrollado **Sistemas Verticales de Transporte de Luz Natural**, que alcanzan mayores distancias, canalizando la radiación solar directa desde el exterior hasta el interior donde es distribuida (“Lumiductos”); sistemas en forma de guías tubulares de luz que sirven para la iluminación natural de las partes internas o sin ventanas de los edificios.

Las guías de luz “Lumiductos” representan la posibilidad de mejorar el confort visual interior y también ofrecen nuevas alternativas de ahorro de energía. Su función se basa en el principio de transporte de la luz desde el exterior a lugares distantes del interior, debido a múltiples reflexiones sobre sus superficies internas de alta reflectancia.

La investigación de la iluminación interior y la transmisión de la luz por medio de guías tubulares de luz, han sido de gran interés para la realización de muchos estudios experimentales y modelos teóricos. Los modelos de iluminación natural interior con guías de luz requiere la especificación de datos de entrada, esto significa saber las condiciones de luz exterior para determinar si está nublado, parcialmente nublado

o despejado. Depende también de las dimensiones, geometría y características de la superficie como el color, rugosidad, reflexión de la luz o transmitancia como datos fundamentales. Las propiedades ópticas de los componentes de guía de luz, sus dimensiones y posición en un edificio debe ser determinada por los cálculos internos iluminación- reflexión.

5.1. ANTECEDENTES

En el Antiguo Egipto había diseños de sistemas para captar la luz del día; utilizaron columnas en sus estructuras de piedra maciza y aplicaron hoja de oro para reflejar la luz. Esta técnica funcionó bastante bien, pero, sólo el Faraón y los ricos podían permitirse el lujo de forrar columnas con oro. Por lo tanto, ésta técnica de luz del día desapareció por siglos. Para ciertos lugares poco profundos o cuya forma lo permitía, utilizaban un juego de espejos (discos de cobre pulido), para reflejar la luz del sol e introducirla en los monumentos, aunque el único problema era que los espejos encontrados en Egipto no parecían ser de muy buena calidad. Cada vez que reflejaban la luz, al menos una tercera parte de ésta era absorbida o dispersada, con lo que después de combinar varios espejos entre la entrada a la tumba y el interior de las distintas cámaras y galerías, la cantidad de luz que llegaba era mínima.

Patentes estadounidenses de los sistemas de Transporte de Luz Natural, datan desde 1890, pero hasta finales del siglo 20, Loren Miller, Jr.³⁰, de 80 años de edad, al retirarse de decorar interiores en Chicago, Illinois, comenzó a idear con diferentes materiales reflectantes un intento de tubo luz de día para su ático y su cocina. Loren Miller, y su sobrino, Greg Miller, trabajaron juntos desde 1989 hasta 1992 como LGM & Associates. En conjunto, desarrollaron y comercializaron El SunLight Pipe TM. Su invención se convirtió en el primero de una nueva generación de productos energéticamente eficientes conocidos como dispositivos de iluminación natural tubular (TDD). Llegando justo a tiempo para el calentamiento global y los costos de energía en espiral hacia arriba.

Paralelamente, en los años 80's, un inventor australiano,³¹ trabajando sólo, tuvo la idea revolucionaria, alternativa eficaz, sin goteos y de estructura compacta para captar la luz. En aquel entonces, cuando los tragaluces tradicionales estaban pobremente diseñados. En 1986, inició el proceso de obtener una patente y cuatro años más tarde, constituyó su empresa (Solatube Limited,)

El primer Solatube se vendió en 1991 y las ventas convirtieron al "captador de luz" en éxito extraordinario. Los fundadores decidieron llevarlo al mercado Norteamericano en 1992 y se establecieron en Carlsbad, California. En los años 90, en Norteamérica las cadenas de televisión más importantes como Discovery

³⁰ Sun Piper R Features & Benefits, 2010, Why You Should Insist on the Original Sun Pipe

³¹ Solatube International Inc. 2010, Trayectoria de la Compañía.

Channel, The Learning Channel (TLC), Home & Garden Television (HGTV) y revistas y periódicos se centraron en promover la utilización de éste producto. En 1998, la compañía se reestructuró y creó Solatube International Inc. para gestionar las operaciones internacionales. En 1999, en Vista, California, ubicó sus nuevas oficinas para dar cabida a la expansión de la compañía, lo que permitió que ésta aumentara sus operaciones e investigara nuevas tecnologías. A principios de 2000, lanzó Brighten Up R con tecnología de punta y modelos de 10" y 14". En agosto de ese año, lanzó una división para empresas, es decir, la primera línea de transportadores de luz diseñados específicamente para edificios comerciales. Solar Master R es la unidad de 21" para éste fin.

Después de 15 años desde que se solicitó la primera patente, éstos transportadores de luz han ido evolucionando siempre con tecnologías de vanguardia; actualmente se están desarrollando varios productos nuevos.

5.2. CARACTERISTICAS

Los "Lumiductos" son un sistema de iluminación con una tecnología innovativa e interesante, ya que pueden conducir la luz a través de largas distancias sin pérdidas significativas. Su principio de funcionamiento es coleccionar, direccionar y conducir la luz solar hacia los espacios interiores de un edificio.

5.2.1. DESCRIPCION DEL SISTEMA

Captura la luz a través de un domo en el techo y la canaliza hacia abajo a través de un sistema reflectante interno. El tubo podrá pasar entre vigas y se instala fácilmente sin modificaciones estructurales. Al nivel del plafón, un difusor que da la apariencia de un artefacto luminoso empotrado dispersa la luz de manera uniforme en todo el espacio. Se puede instalar en cuartos que no tienen acceso directo al techo, o en áreas pequeñas como cuartos de baño, clóset y pasillos. También se utiliza para dormitorios, salones familiares, oficinas y salas de juntas. Las unidades tienen un diseño compacto (de 250 mm o 10 pulgadas de diámetro) y tienen un tubo ajustable con adaptadores angulares que permiten la instalación alrededor de las obstrucciones.

El diseño redondo y de una sola pieza de los cubrejuntas de la claraboya tubular permite que el agua y la suciedad fluyan al lado de la unidad sin obstrucciones. Se ha sellado toda la unidad para bloquear toda la humedad.

En algunos casos pueden ser multifuncionales. Se equipan las claraboyas tubulares con opciones como una luz eléctrica integrada (para leer de noche), un amortiguador de luz diurna para apagar la luz natural,

así como un ventilador para la ventilación, proporcionando dos o tres unidades en un solo artefacto de plafón.

El diseño del cubrejuntas circular de una sola pieza sin costuras de las sistemas de iluminación natural permite que la lluvia y la suciedad circunvalen naturalmente la claraboya. Los cubrejuntas no tienen juntas ni puntos débiles que se puedan separar y permitir el ingreso del agua.

La instalación es muy fácil. Un contratista experimentado o una persona habilidosa pueden hacer el trabajo en unas pocas horas. Está diseñado con un sistema de fijación y un sistema de tubo telescópico. Además, muchos componentes vienen instalados de fábrica para reducir al mínimo el tiempo de montaje. Se instala aproximadamente en dos horas o menos en techos con tejas de asfalto, mientras que en otros techos posiblemente se demore un poco más. Tienen muchas piezas instaladas de fábrica para permitir una instalación rápida y fácil

No producen descoloramiento. El domo de acrílico filtra todo excepto el 0,1% de los rayos UV, luego el difusor filtra todo menos el 2,4% de esto. Por lo tanto se filtra el 99,9% de las radiaciones UV.

5.2.2. COMPONENTES DEL SISTEMA.

La principal función de los sistemas de transporte de luz es transferir el recurso de luz exterior hacia un emisor interno. El sistema de transporte puede ser dividido en diferentes tipos, la forma más básica es un simple cilindro vacío a lo largo del cual un rayo de luz colimado puede viajar. Los ductos espejados, por ejemplo, son un sistema donde la luz es guiada utilizando la reflectancia de la superficie del espejo para reflejar y difractar la luz hacia una distancia requerida, de la misma forma la superficie puede ser otro material reflectivo. El sistema consiste en tres componentes principales:

- **A. COLECTOR**, puede ser un espejo, generalmente cóncavo, o un lente Fresnel, un sistema rotativo de doble placa prismática, un heliostato o simplemente una cúpula transparente.
- **B. DUCTO**, puede ser un tubo metálico con una superficie interna pulida y altamente reflectiva o del tipo. Existen varios tipos de ductos: un tubo metálico reflectivo, fibra óptica, un tubo de acrílico sólido, y un prisma para guiar la luz. La eficiencia del sistema depende principalmente del conducto, su calidad y su longitud. La concentración y colimación de la luz, así como la limpieza y el mantenimiento del ducto son muy importantes. La eficiencia de un buen sistema puede llegar a exceder el 25% medido desde la luz incidente el colector primario hasta el emisor de luz en la habitación.³²

³² U.S. Sites for Solatube Lumen Output Data, 2010. Use of Lumen Output Tables in Conjunction with the Solatube IES File. Version 4.1 -7/05

. **C. EMISOR**, distribuye la luz que sale del sistema de transporte hacia el espacio a iluminar. Se hace menos evidente que este recurso natural haya sido conducido por una cierta distancia, entonces es común que los ocupantes del edificio demanden la misma calidad de iluminación que se obtiene de una luminaria artificial. Igualmente el emisor es similar a una luminaria para iluminación eléctrica y por elección puede ser directo, semi-directo, difusor semidirecto o totalmente indirecto.

5.2.3. MATERIALES

Los “Lumiductos” se clasifican según el material que se emplee en:

- A. **FIBRA OPTICA:** es sumamente eficiente, funciona por reflexión interna total pero su elevado costo restringe su uso a aplicaciones decorativas de luz artificial. El mayor inconveniente está representado por la concentración requerida dada la escasa apertura de la fibra; para ello se requieren complicados heliostatos que concentren la luz natural emitida como luz fluorescente que es transportada por guías de material flexible de un costo menor a la fibra óptica.
- B. **GUIAS DE PMMA TRANSPARENTE:** el polimetil metacrilato o PMMA es un acrílico transparente que ha sido usado por sus propiedades transmisoras y relativo bajo costo. La luz es transportada por reflexión interna total mediante tubos macizos o huecos cilíndricos. En el caso de los macizos, la eficiencia es del 50% para una relación de 1:24 entre diámetro y longitud. Sólo ha sido probado en pequeños edificios.
- C. **DISPOSITIVOS DE LENTES Y ESPEJOS:** las lentes tienen buenas características transmisoras y mantienen el rayo de luz concentrado, este sistema no necesita un contenedor. Los inconvenientes que presenta son el alto costo de las lentes y el montaje preciso que requieren. La transmitancia es del 92% y el espacio entre lentes dependerá de la longitud focal de las mismas. Se ha comprobado una eficiencia del 28% para un dispositivo de 13 lentes.

5.2.4. SUBSISTEMAS COMPONENTES DE TRANSPORTADORES DE LUZ NATURAL.

Se presenta en tablas la clasificación de los mecanismos existentes para los tres subsistemas; en los que se especifica el nombre, la imagen del componente, beneficios e inconvenientes de cada uno y su origen de fabricación.

COLECTORES DE LUZ NATURAL EN “LUMIDUCTOS”

TIPO DE COLECTOR	DESCRIPCION	VENTAJAS	DESVENTAJAS	SISTEMA EN EL QUE SE APLICA
CONCENTRADOR FRESNEL	Se trata de un lente que se obtiene a partir del rebaje con cortes de una lente en anillos circulares concéntricos consecutivos	Amplifica la potencia de la luz solar. Peso y espesor reducidos	Alta transmisión de calor. El ángulo de incidencia determina el rendimiento. Movimiento mecánico	Asociado a sistemas de transmisión por fibra óptica y difusores tipo spot.
PANELES CORTADOS CON LASER	Panel acrílico con micro cortes colocado entre dos vidrios. Los cortes funcionan como espejos que redireccionan la luz	Peso y espesor reducidos. Alto rendimiento	Rendimiento según la profundidad de los cortes y ángulo de incidencia.	Aplicado a sistemas de transmisión tipo ducto. Uso en ventanas laterales y cenitales.
PANEL PRISMÁTICO	Panel acrílico moldeado con una cara plana y una cara con prismas o cuñas triangulares	Peso y espesor reducidos. Buen rendimiento. Aprovechamiento de la luz difusa	Costo de instalación elevado. El ángulo de incidencia solar determina el rendimiento	Asociado a sistemas de transmisión tipo ducto. Uso en ventanas laterales y cenitales.
MICRO LÁMINAS REFLEXIVAS	Láminas transversales y verticales que reflejan la luz incidente. Fabricadas en plástico con metalización de aluminio.	Aprovechamiento de la luz directa y difusa. Exclusión del calor	Tecnología y mantenimiento de costo elevado. El grado de incidencia solar determina el rendimiento.	Asociado a cubiertas anhidólicas y sistemas de captación cenitales.
ESPEJO DIRECCIONAL (HELIOSTATO)	Sistema de espejos metálicos que direcciona la luz hacia espacios interiores o abiertos	Aprovechamiento de la luz directa y difusa. Iluminación de grandes áreas.	Tecnología y mantenimiento de costo elevado. El grado de incidencia solar determina el rendimiento.	Asociado a sistemas de transmisión por sistema de espejos
COLECTOR PARABÓLICO	Plano metálico de curvatura doble parabólica (cóncavo) que concentra la luz captada en distintos puntos según el ángulo de incidencia	Aprovechamiento de la luz directa y difusa. Buena relación costo rendimiento	A mayor superficie, mayor captación, elevado peso, acabado pulido de alto costo	Asociado a sistemas de transmisión tipo ducto, cenitales y laterales.
CONCENTRADOR ANHIDÓLICO	Sistema de espejos y lentes que concentran la luz, elevando el rendimiento de la radiación disponible.	Amplifica la potencia de la luz solar.	Altas exigencias de precisión en la instalación	Aplicado a sistemas de transmisión tipo ducto. Uso en ventanas laterales y cenitales.

TABLA 5.1 COLECTORES DE LUZ NATURAL. FUENTE: FERRÓN, L., ET AL., (2005), DISPONIBILIDAD COMERCIAL DE SISTEMAS DE TRANSPORTE DE LUZ NATURAL, AVANCES DE ENERGÍAS RENOVABLES Y MEDIO AMBIENTE, VOL. 9 2005, ASADES,

TRANSPORTADORES DE LUZ NATURAL EN “LUMIDUCTOS”

TIPO DE TRANSPORTADOR	DESCRIPCION	VENTAJAS	DESVENTAJAS	SISTEMA EN EL QUE SE APLICA
FIBRA ÓPTICA	Consiste en varias hebras delgadas de vidrio o plástico con diámetro de 50 a 125 micras con un revestimiento que rodea y protege al núcleo	Alto coeficiente de transmitancia, filtro selectivo de longitudes, buen rendimiento de color, Versatilidad de aplicaciones	Alto costo, fragilidad del sistema instalado	Asociado a concentradores tipo Fresnel de alto rendimiento
GUÍAS DE LUZ LÍQUIDAS	Similares a las fibras ópticas plásticas, pero con el interior lleno de líquido	Muy bajas pérdidas de transmisión luminica	El líquido se filtra por las guías y las bajas temperaturas lo congelan	Asociado a concentradores tipo Fresnel de alto rendimiento
GUÍAS ACRÍLICAS SÓLIDAS	Prismas o cilindros sólidos de metal plástico translúcido que transmite la luz por el principio de reflexión total interna	Alto coeficiente de transmitancia, transmisión de altos flujos de luz según diámetro y rigidez estructural	Dificultad de instalación, baja resistencia mecánica, alto costo, fragilidad del sistema	Asociado a concentradores tipo Fresnel de alto rendimiento
DUCTOS REFLEXIVOS	FILM OPTICO - con estructuras prismáticas tridimensionales que reflejan la luz entrante. La orientación del facetado determina el patrón reflexivo deseado.	Alto coeficiente de transmitancia, buen rendimiento de color	Dificultad en el forrado interno de los ductos, baja resistencia mecánica, dificultad de manipulación	asociado a concentradores tipo Fresnel. Concentradores Anhidólicos, LCP y Concentradores Parabólicos
	MYLAR - Película termoplástica con orientación triaxial, compuesta de glicol de etileno y dimethyl terephthalate (DMT)	Alto coeficiente de transmitancia, buen rendimiento de color	Proceso de pulido de alto costo	asociado a concentradores tipo Fresnel. Concentradores Anhidólicos, LCP y Concentradores Parabólicos
	TUBO - Conductos de acero inoxidable pulido espejo en su interior. Se conforman a medida según la instalación	Buen coeficiente de transmitancia, buen rendimiento de color	Dificultad de instalación, baja resistencia mecánica, alto costo, fragilidad del sistema	Asociado a concentradores tipo Fresnel. Concentradores Anhidólicos, LCP y Concentradores Parabólicos
	GUÍA SÓLIDA DE PERÍMETRO PRISMÁTICO - Sección cuadrada o cilíndrica de acrílico con micro-secciones prismáticas	Alto coeficiente de transmitancia, buen rendimiento de color	Dificultad de instalación, baja resistencia mecánica, alto costo, fragilidad del sistema	asociado a concentradores tipo Fresnel. Concentradores Anhidólicos, LCP y Concentradores Parabólicos
SISTEMAS AÉREOS	Conjunto de lentes o parábolas enfocadas a la distancia	Baja intervención arquitectónica para la instalación, transmite grandes flujos de luz.	Requiere precisión en la orientación de las parábolas para minimizar pérdidas por mal enfoque	Asociado a concentradores tipo Fresnel de alto rendimiento

Tabla 5.2. Transportadores de Luz Natural. Fuente: Ferrón, L. ET Al, 2005, Disponibilidad comercial de Sistemas de Transporte de Luz Natural. Avances de Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 9 2005,Asades

EMISORES DE LUZ NATURAL EN “LUMIDUCTOS”

TIPO DE EXTRACTOR	DESCRIPCION	VENTAJAS	DESVENTAJAS	SISTEMA EN EL QUE SE APLICA
FIBRA ÓPTICA	Consiste en varias hebras delgadas de vidrio de plástico con diámetro de 50 a 125 micras con un revestimiento que rodea y protege al núcleo	Posibilidad de aplicaciones tipo spot, líneas de luz periféricas, ramificación de puntos iluminados	Dificultad para la iluminación de grandes áreas, alto costo	Residencial, comercial, decoración, publicidad, estetoscopia, iluminación puntual, cultivos vegetales
DIFUSORES	Pueden ser plásticos, de cristal o metálicos tipo louver, cromados, mate o blancos.	Funciona como una luminaria convencional, pero alimentada por luz neutral	Durante periodos de baja colección reduce considerablemente el nivel de luz emitida	Residencial, comercial, grandes ambientes
EXTRACTORES	Sistema de espejos que refleja un porcentaje de la luz incidente, dejando pasar el resto	Ayuda a mantener niveles de uniformidad en interiores de grandes dimensiones	Durante periodos de baja colección reduce considerablemente el nivel de luz emitida	Residencial, comercial, grandes ambientes, iluminación en profundidad

TABLA 5.3 TRANSPORTADORES DE LUZ NATURAL. FUENTE: FERRÓN, L., ET AL., (2005), DISPONIBILIDAD COMERCIAL DE SISTEMAS DE TRANSPORTE DE LUZ NATURAL, AVANCES DE ENERGÍAS RENOVABLES Y MEDIO AMBIENTE, VOL. 9 2005, ASADES,

5.3. COMPARACION ENTRE DOMOS Y LUMIDUCTOS

Los “Lumiductos” proporciona una mejor difusión de la luz. En vez de iluminar sólo el espacio directamente abajo de la claraboya, una claraboya tubular usa la óptica para dispersar la luz hacia fuera, iluminando con frecuencia todo el cuarto.

Una desventaja, es la disminución de luz transmitida cuando no hay luz solar directa, especialmente con sistemas con espejos o heliostatos. Por lo tanto se requiere de algún tipo de lámpara artificial. Lo ideal sería utilizar una lámpara de descarga de alta intensidad ya que su temperatura de color puede ser comparada con la luz natural.

Los domos tradicionales tienen su lugar igual que los transportadores de luz. Sin embargo, hay algunos beneficios de los Lumiductos, incluyendo opciones flexibles para su ubicación, bajo costo de instalación y mejor rendimiento de la instalación.

Los “Lumiductos” pueden lograr mejores resultados de rendimiento lumínico que un domo de tamaño similar; porque no usan un cubo de luz (en el cual se pierde eficiencia lumínica debido a la absorción de

las paredes del cubo). Los "Lumiductos" capturan la luz de manera más eficaz en el techo y transfieren eficientemente más luz hacia abajo por el tubo reflector y adentro del cuarto.

Además éste sistema proporciona una mejor difusión de la luz. En vez de iluminar sólo el espacio directamente abajo del domo, un difusor empotrado en el plafón usa la óptica para dispersar la luz hacia fuera.

Greg Miller³³ hace estudios y establece que hay cuatro características en contra de los domos tradicionales respecto a la luz solar:

- 1) El "punto caliente" de la luz solar en el suelo no hace nada para iluminar los espacios,
- 2) Aumento de los costos de calefacción refrigeración en verano y el invierno (\$ 20/sf/yr.) debido a la ineficiencia térmica y ganancia de calor solar incluso de los mejores de doble acristalamiento, tragaluces lleno de argón,
- 3) La transferencia térmica hacia la azotea inevitable que parece acompañar a los domos
- 4) El proceso de instalación es mucho mayor.

5.4. "LUMIDUCTOS SOLATUBE"

5.4.1. PRODUCTOS DESARROLLADOS

La serie Brighten Up incluye el Solatube 160 DS (250mm/10 pulg. sistema de iluminación natural) y Solatube 290 DS (350mm/14 pulg. sistema de iluminación natural), se puede instalar a ambos de manera rápida y fácil entre las vigas y viguetas estándar y sin tener que hacer modificaciones estructurales. La serie también incluye difusores y cubrejuntas opcionales así como accesorios para agregar luces eléctricas, atenuador de luz diurna y ventilación.

El Solatube 160 DS (250mm/10 pulg. sistema de iluminación natural) y el Solatube 290 DS (350mm/14 pulg. sistema de iluminación natural) caben fácilmente entre las vigas del techo sin cambios estructurales, por lo tanto no hay que construir un pozo de luz. Nuestro tubo de diseño ajustable incluye dos adaptadores angulares Spectralight® Infinity que permiten la instalación alrededor de las obstrucciones del ático y el tubo de extensión Spectralight® Infinity viene en segmentos de 400mm (16 pulg.) y 600mm

³³ Miller, G. (1992), Patente Sun-Pipe R,

(24 pulg.). Todos estos elementos tienen un diseño telescópico cuando se los une, de manera que no hace falta cortar.

El tubo patentado Spectralight Infinity proporciona hasta un 99% de reflectancia total y un 99% de reflectancia especular. Es el material con mayor reflectividad en el mercado mundial actual y se usa en las sistemas de iluminación natural Solatubes. Disponible para el Solatube 160 DS (250mm), Solatube 290 DS (350mm), Solatube 21-C y Solatube 21-O (530mm)

El reflector LightTracker™ atrapa la luz que normalmente atravesaría el domo y la redirige hacia el interior del tubo. Una mayor entrada de luz supone una mayor salida de luz. La tecnología Raybender® 3000 aumenta la luz de las primeras horas de la mañana y de última hora de la tarde, al tiempo que rechaza la luz demasiado intensa del mediodía para reducir el exceso de brillo y el calor.

Todos los difusores están diseñados para tener una apariencia muy atractiva y discreta en el techo. Los difusores tienen un elegante embellecedor biselado intercalado entre la lente y el techo. El embellecedor está moldeado con inyección de acrílico resistente a los impactos. En la actualidad, hay dos modelos de lentes difusoras de techo. Los dos tienen doble vidrio y están diseñados para difundir eficazmente la luz natural por toda la habitación.

Difusor Vusion™: para obtener una excelente difusión de la luz que se funde a la perfección con el plano del techo, elija el difusor Vusion. Su diseño actual combina con la mayoría de los estilos de decoración, al tiempo que proporciona el resplandor de la luz natural.

Difusor OptiView®: permite ver el cielo mediante una serie de lentes radiales de alta tecnología. Estas lentes difunden la luz y minimizan los reflejos de forma muy eficaz. El difusor OptiView no sólo tiene un aspecto fabuloso, sino que también añade algunas características adicionales a los tragaluces Solatube que ningún otro producto consigue igualar. Esta revolucionaria lente difusora refracta la luz procedente de los tubos ópticos de Spectralight® Infinity unos 85 grados hacia arriba, lo que proporciona una mejor dispersión de la luz. La otra característica maravillosa es que al mirar por la lente se ven el Sol, la Luna y el firmamento en miniatura.

También se encuentra disponible un difusor secundario. Esta opción se instala a la altura del difusor y difumina la luz, transmitiendo una luz más suave. Se utiliza principalmente en mercados con mucha luz solar, donde a los clientes a veces les parece que la luz de los sistemas de iluminación natural Solatube es demasiado intensa. Recomendamos esperar un par de semanas tras la instalación de un sistema de iluminación natural Solatube hasta acostumbrarse a la nueva luz.

5.4.2. BENEFICIOS DE UTILIZAR LOS “LUMIDUCTOS”

Tabla 5.4. Fuente: Catálogo Solatube 2009. Comparación de eficiencia entre “Lumiductos” y lámparas eléctricas. Australia.

- Se instala en cuestión de horas.- Es bastante fácil para instalar
- No se necesita hacer cambios estructurales
- Con doble aislamiento lente difusor
- Mínima ganancia o pérdida de calor
- Energía libre; ahorro en las facturas eléctricas
- Sellado y resistente al agua
- Libre de mantenimiento
- Dispersa la luz a lo largo de su habitación
- No se desvanecen alfombras o muebles (UV - Libre de sol)
- La luz del espectro completo la opción saludable
- Mejora el estado de ánimo
- Mejor fuente de luz para la representación de color
- Mejora la eficiencia en el trabajo
- Mejora la calidad del aire mediante la reducción de los moldes y los hongos
- Óptima de la luz sin calor radiante
- Con un pequeño porcentaje del área que ocupa un domo tradicional.
- El costo es menor que instalar un domo tradicional
- Se adapta a donde DOMOS tradicionales
- Libre de contaminación

5.5. EFICIENCIA ENERGÉTICA

Funcionando durante las horas diurnas, las luces eléctricas permanecen apagadas lo que quiere decir que no se consume energía. Tienen una ganancia de calor insignificante. .Para poder hacer una exposición acerca del ahorro energético de los “Lumiductos”; en principio se tomaron las especificaciones del fabricante, en éste caso de la marca Solatube, describiendo las eficiencias lumínicas de diferentes productos:

Solatube de160 DS (250mm/10 pulg. sistema de iluminación natural) proporcionará luz para un área residencial de hasta 19 metros cuadrados (200 pies cuadrados).

Solatube 290 DS (350mm/14 pulg. sistema de iluminación natural) ilumina un área residencial de hasta 28m cuadrados (300 pies cuadrados).

Solatube 21-C y 21-O (530mm/21 pulg. sistema de iluminación natural) ilumina un área residencial de hasta 46m cuadrados (500 pies cuadrados).

Estas áreas iluminadas se basan en un tubo con un largo promedio de 1,82m (6 pies) y 2,4m (8 pies) de altura del plafón, con el domo expuesto a la luz solar directa. La luz emitida variará dependiendo de la intensidad del sol. Por ejemplo, es posible que haya mas luz al mediodía que a la mañana o a la tarde. La emisión de luz también disminuye a medida que aumenta el largo del tubo. Las áreas iluminadas aceptables diferirán mucho debido a las distintas alturas del plafón y del uso de los espacios. Para comparar la emisión de luz de un sistema de iluminación natural con las luces eléctricas se propone lo siguiente: La luz se mide en lúmenes y el uso de la energía en vatios. Una lámpara incandescente estándar de 100 vatios produce 1200 lúmenes. Un tubo fluorescente de 40 vatios, 1.20 metros produce 2300 lúmenes.

Producto	Emisión relativa de luz (lúmenes)	Lámpara eléctrica y artefacto
Cielo raso abierto 530mm (21 pulg.) 21-0 Solatube (b) (Serie SolarMaster)	13,900 lúmenes promedio(a) Hasta 20,800	Aproximadamente igual a la luz emitida por 0,6 accesorios de haluro de metal de compartimiento alto de 400 vatios. (c)
21-C Solatube de 530mm (21 pulg.) Suspendido/Cielo raso duro (b) (Serie Solar Master)	13,500 lúmenes promedio (b) hasta 20,500	Aproximadamente igual a usar la emisión de luz de 2 artefactos, cada uno de los cuales usa (3) lámparas fluorescentes F032T8. (d)
Solatube de 290 DS (a) (Serie Brighten Up)	6,000 lúmenes promedio (b) hasta 9,100	Aproximadamente igual a usar la emisión de luz de 1 artefacto que usa (3) lámparas fluorescentes F032T8. (d)
Solatube de 160 DS (a) (Serie Brighten Up))	3,000 lúmenes promedio (b) hasta 4,600	Aproximadamente igual a (3) lámparas fluorescentes compactas de 18W de cuatro tubos. (d)
<p>a. La emisión relativa de luz del Solatube basada en un tubo de 76cm (30 pulg.) para el producto de cielo raso abierto SolaMaster de 530mm (21 pulg.). Los valores máximo y promedio logrados durante el pico de las 2.400 horas anuales de luz diurna para San Diego, con datos meteorológicos TMY2 de California.</p> <p>b. La emisión relativa de luz del Solatube basada en un tubo de 1.82m (6 pies) de largo para los productos Brighten Up de 160 DS y de 290 DS y el SolaMaster para cielo raso suspendido de 21-C (530mm/21 pulg.). Los valores máximo y promedio logrados durante el pico de las 2.400 horas anuales de luz diurna para San Diego, con datos meteorológicos TMY2 de California.</p> <p>c. Suponiendo la eficiencia de un artefacto típico de compartimiento alto del 90% y una salida promedio de lámpara de 25.000 lúmenes.</p> <p>d. Suponiendo un factor de pérdida típico de 0.75, excluyendo pérdidas adicionales de eficiencia.</p>		

Tabla 5.4. Comparación de eficiencia entre algunos modelos de “Lumiductos” Solatube y lámparas eléctricas. Fuente: Catálogo Solatube 2009.

5.6. EJEMPLOS DE APLICACION.

5.6.1. PROTOTIPOS Y DESARROLLOS EXPERIMENTALES

La investigación de la iluminancia y la eficiencia energética de los tubos de luz; es actualmente una tarea muy importante y ha sido desde hace pocos años el interés en estudios experimentales y modelos teóricos en institutos de investigación y universidades. Los modelos de iluminación natural interior requieren especificar y determinar varios datos. Entre otros, las condiciones de cielo, si está despejado, nublado o medio nublado; Las dimensiones de la habitación, su geometría y las características de los acabados como color, textura, y los valores de reflectancia o transmitancia son fundamentales. También las propiedades ópticas de los componentes del sistema, sus dimensiones y posición en un edificio se deben determinar para definir el sistema a usar.

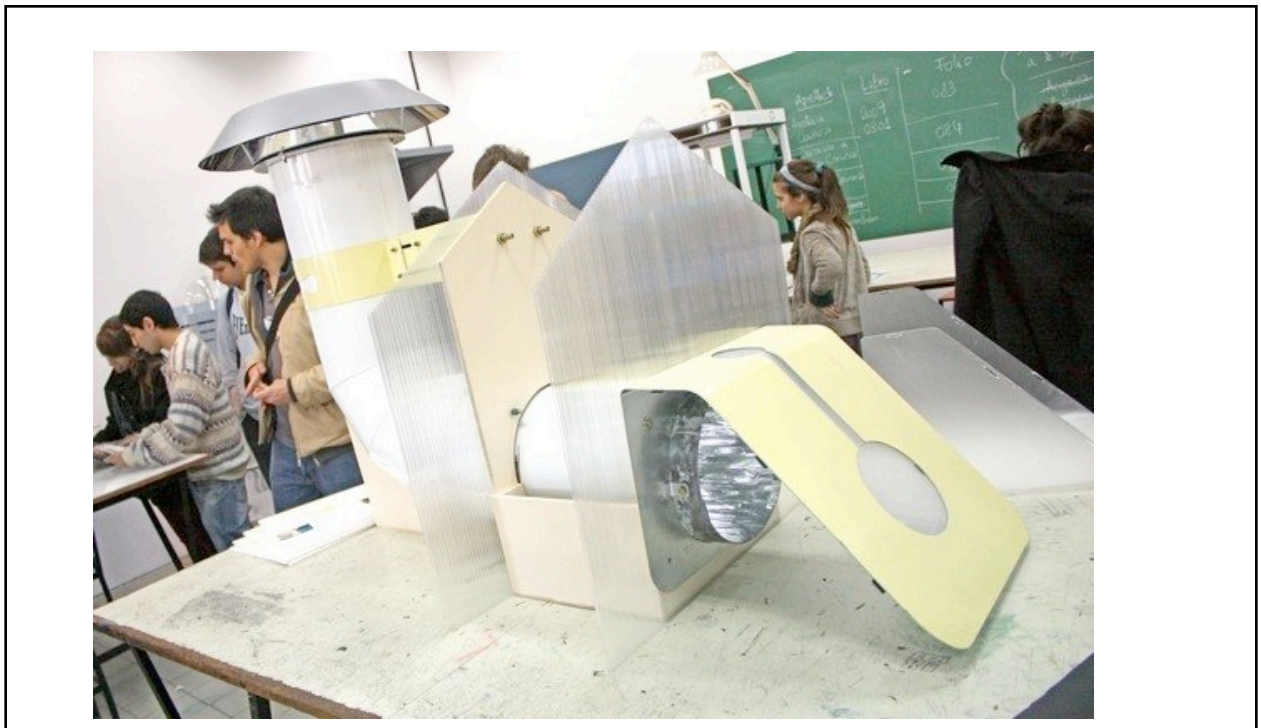


Fig. 5.2 Proyecto para la mejora de la iluminación y ventilación natural en las cúpulas del Fugee Harbour, Taiwan. www.espaciosolar.com/fichas.../FUGEE_HARBOUR_TAIWAN.

5.6.2.NUEVOS PROYECTOS SUSTENTABLES.

Este proyecto ha sido desarrollado por el Arquitecto Vicente Gualart y consiste en un conjunto de elementos que forman una gran estructura celular, generando espacios autónomos a la vez que integrados en una misma unidad. Cada célula se ilumina cenitalmente mediante el sistema de Domos Verticales de Luz (marca Depluson) de cúpulas de alto rendimiento y conductos reflectantes para transportar la luz natural. Las cúpulas además sirven de regulador térmico al permitir la ventilación natural mediante un sistema motorizado programable que la eleva permitiendo la circulación del aire.³⁴

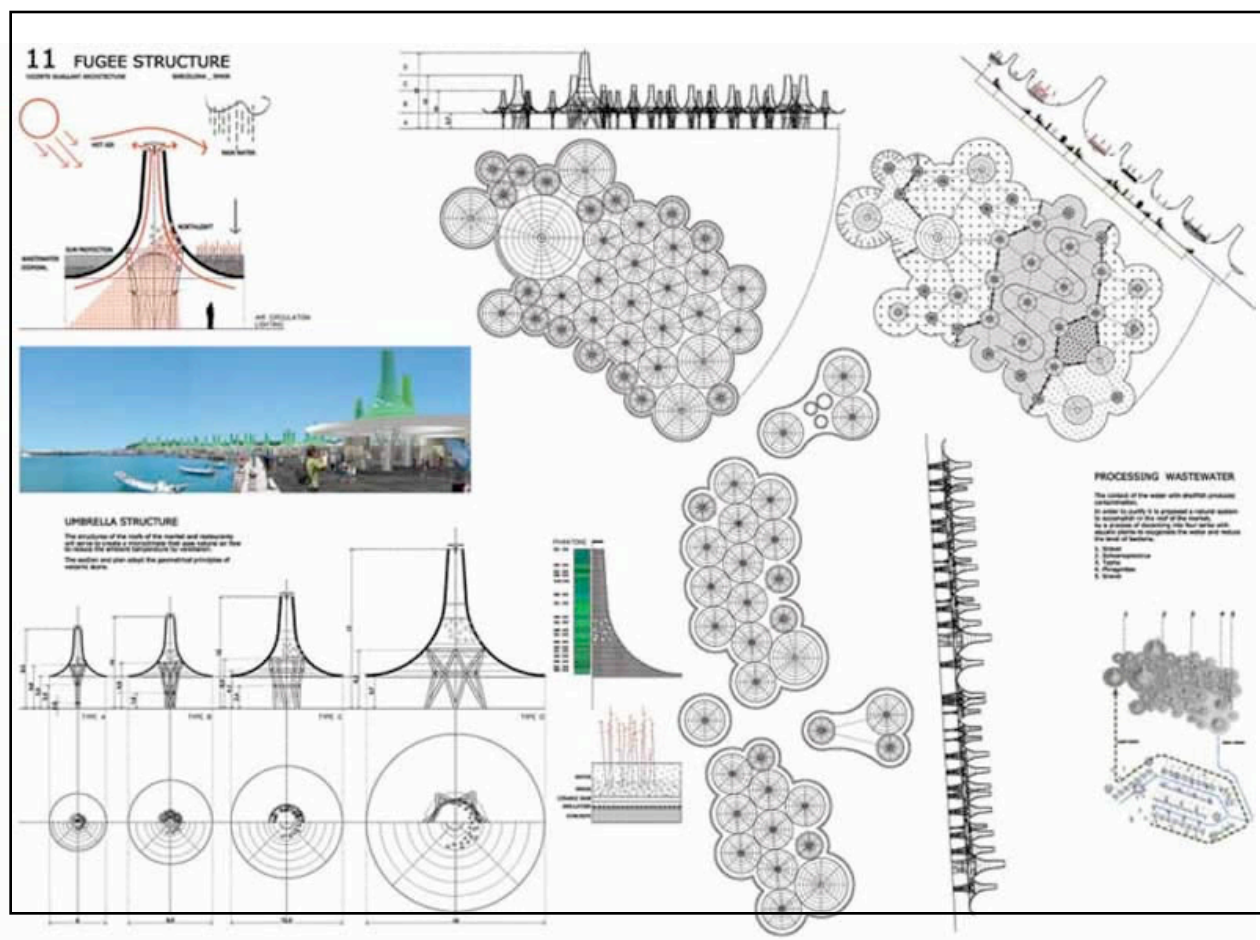


Fig. 5.3 Proyecto para la mejora de la iluminación y ventilación natural en las cúpulas del Fugee Harbour, Taiwan. www.espaciosolar.com/fichas/_FUGEE_HARBOR_TAIWAN

³⁴ Depluson Ingeniería y proyectos (2005), www.espaciosolar.com



Fig. 5.4. Proyecto para la mejora de la iluminación y ventilación natural en las cúpulas del **Fugee Harbour, Taiwan**. www.espaciosolar.com/fichas.../FUGEE_HARBOUR_TAIWAN.



Fig. 5.5. Proyecto para la mejora de la iluminación y ventilación natural en las cúpulas del **Fugee Harbour, Taiwan**. www.espaciosolar.com/fichas.../FUGEE_HARBOUR_TAIWAN.



Fig. 5.5. Proyecto para la mejora de la iluminación y ventilación natural en las cúpulas del **Fuguee Harbour**, Taiwan. www.espaciosolar.com/fichas.../FUGEE_HARBOUR_TAIWAN.

5.6.3. EN OBRAS NUEVA



Fig. 5.6 Supermercado en Cadiz, España



Fig. 5.7 Oficinas Corporativas en San Juan del Río, Querétaro



Fig. 5.9 Oficinas Corporativas en Monterrey, Nuevo León.

5.6.4. EN REMODELACIONES.



Fig. 5.10. Tienda de Ropa en Zapopan, Jalisco

CAPITULO 6

EVALUACIÓN DE LOS “LUMIDUCTOS”

6.1 ESPECIFICACIONES DEL “LUMIDUCTO SOLATUBE”

- 6.1.1. MEDIDAS Y PRINCIPALES COMPONENTES.
- 6.1.2. VENTAJAS DEL SISTEMA.
- 6.1.3. ESPECIFICACIONES.
- 6.1.4. VALORES PRESENTADOS POR “IES (ILUMINATING ENGINEERING SOCIETY)

6.2 ANÁLISIS CLIMATOLÓGICO

- 6.2.1. BIOCLIMA
- 6.2.2. PARÁMETROS
- 6.2.3. TEMPERATURA
- 6.2.4. HUMEDAD
- 6.2.5. PRECIPITACIÓN
- 6.2.6. NUBOSIDAD
- 6.2.7. INSOLACIÓN
- 6.2.8. RADIACIÓN SOLAR
- 6.2.9. CONFORT VISUAL.

6.3 MODELO EXPERIMENTADO

- 6.3.1. PRESENTACIÓN DEL “CASO DE ESTUDIO”
- 6.3.2. ANÁLISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS

6.4 CONCLUSIONES

La importancia de la presente investigación reside en la habitual falta de aprovechamiento de la luz natural en los edificios, recurriendo a sistemas de iluminación artificial que no actúan como un complemento de la luz natural, sino como fuente principal de iluminación de locales, dejando de lado las ventajas de la luz natural.

Con el fin de evaluar el uso de los Domos Tubulares como una nueva alternativa Tecnológica de solución en el campo de la Arquitectura Bioclimática; se escogió la evaluación de la “ILUMINACIÓN NATURAL CON DOMOS TUBULARES”, en un “Lumiducto” ubicado en Zona Esmeralda. El mismo tiene como objetivo investigar la eficacia del traslado de la luz natural en espacios internos con poca posibilidad o ninguna de utilizar ventanas o domos convencionales, conservando adecuados niveles de iluminación en el interior de los locales. En segunda instancia, se desarrolla el análisis del caso concreto de cocina - desayuno en casa-habitación.

El abordaje del tema se enmarca dentro de la temática general de la sostenibilidad en la arquitectura, que deriva en beneficios ambientales y en el confort de los usuarios.

Se estudiaron las características físicas y tecnológicas del Domo Tubular “Solatube” de 14”, utilizado en ésta investigación las especificaciones que reporta el fabricante. Por medio de mediciones, análisis y sistematización de la información a través de la elaboración de tablas, gráficas y fotografías; se valoró su eficiencia lumínica en espacios profundos o con obstrucciones

6.1. ESPECIFICACIONES DEL “LUMIDUCTO SOLATUBE”

6.1.1. MEDIDAS Y PRINCIPALES COMPONENTES

Estos domos tubulares cuentan con tres medidas que cubren cualquier necesidad de iluminación: 10” (25cm), 14” (35cm) (y 21” (60cms) de diámetro.

Sus principales componentes son: Domo burbuja y componentes para captar la luz.; Flashing o base; Tubos Reflectivos para conducir la luz natural ; Difusores para distribuir la luz en un área específica y accesorios que permiten cubrir necesidades adicionales y específicas.

Cuenta con un material 99.7% reflectivo, Spectralight Infinity R el cual le permite brindar una insuperable cantidad e inmejorable calidad de luz.

El material reflectivo es fundamental para poder brindar una eficiente cantidad de iluminación en lúmenes, es uno de los componentes de mayor valor en la tecnología de Domos Tubulares.

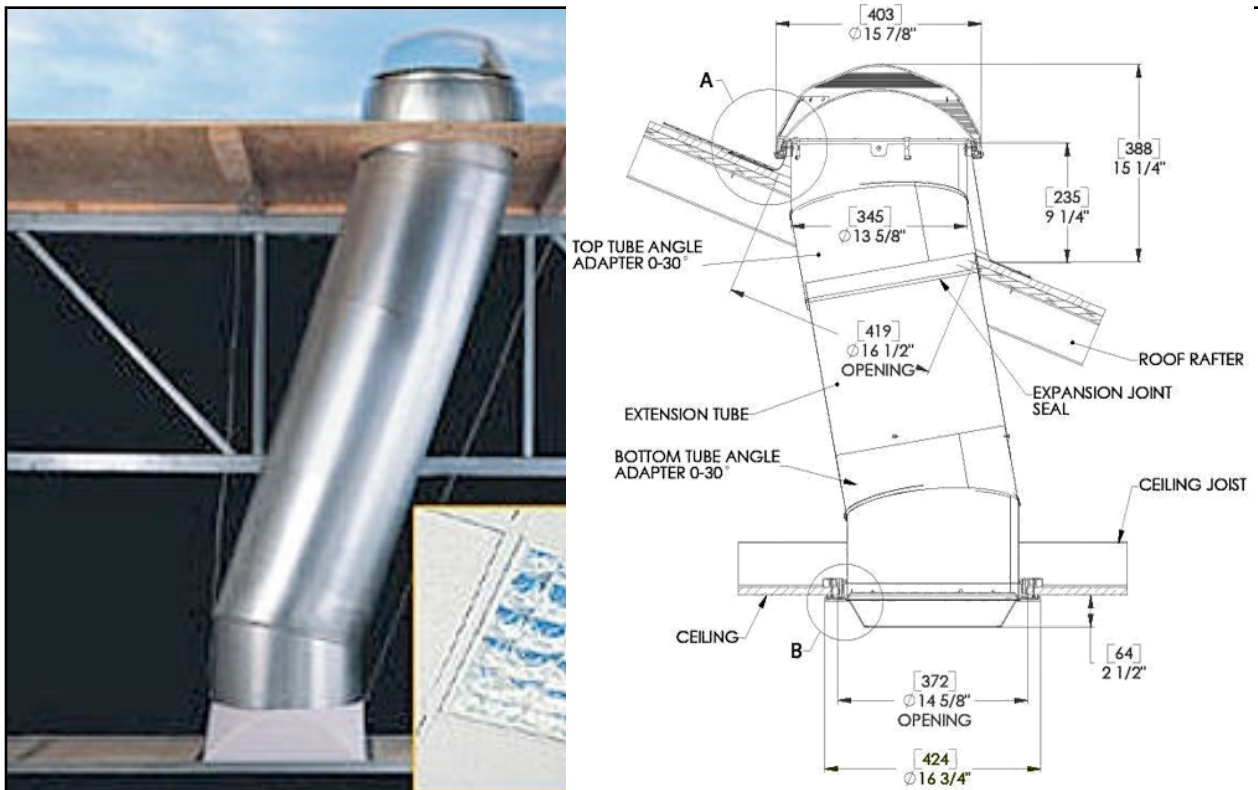


Fig. 6.1 Solatube, esquema apreciativo. Catálogo 2010 Solatube International R.

6.1.2. VENTAJAS DEL SISTEMA

- -Solución real en ahorro de energía.
- -Conducción de luz solar y filtro de rayos UV
- Mínima transferencia de calor.
- Los tubos reflectivos permiten bajar la luz solar hasta 12 metros sin pérdida de eficiencia.
- Posibilidad de regular la cantidad de luz emitida por el domo Solatube a través de un Dimmer.
- Permite instalación en salas de conferencia y lugares en los que no se desea luz natural el 100% del tiempo. Hermeticidad garantizada.
- En cuanto a iluminación artificial: Permite eliminar la necesidad de iluminación artificial durante el día.
- El número de horas útiles es mayor durante el verano.
- Eficiente sistema de respaldo para iluminación.



Fig. 6.2. Esquema de ducto utilizado por Cía. Solatube International R.

6.1.3. ESPECIFICACIONES

CARGA TERMICA La ganancia/pérdida de calor de una unidad de Domo Tubular, es proporcional al área expuesta al exterior. Diseñado para evitar contacto del aluminio con la base cubierta, aislando completamente el difusor lo que elimina la transmisión de calor. Debido a la mínima carga térmica generadas por los Domos Tubulares, los requerimientos de refrigeración y aire acondicionado son menores brindando importantes ahorros energéticos.

- Solar Heat Gain Coeficient: 0.55 - 0.75
- Factor U: 0.71 -0.80 BTU/hr - ft²-°F.
- Valores calculados de acuerdo a los procedimientos establecidos por el National Fenestration Rating Council NFRC 100-2001 y NFRC 200-2001.

CARGAS SOPORTABLES.³⁵

- Los valores de cargas soportados están calificados como factor de seguridad 2 (100psf) y 3 (100psf) contra vientos ascendentes y descendentes respectivamente.
- Test conforme a ICBO AC16 y ASTM E-330-96

Distancia	Espacios cerrados (1)	Espacios diáfanos (2)	Espacios con techos abiertos (3)
De la pared	Distancia < 0.5 x MH (Máximo = 1.0 x MH)	Distancia < 0.5 x MH (Máximo = 1.0 x MH)	Distancia < 0.5 x MH (Máximo = 1.0 x MH)
Entre unidades	1.0xMH < Distancia < 1.3 x MH (Máximo = 1.5xMH)	1.0xMH < Distancia < 1.3 x MH (Máximo = 1.5xMH)	0.8xMH < Distancia < 1.0 x MH (Máximo = 1.5xMH)
Tips	Utilizando una sola unidad para iluminar más de 5m x 5m se pueden producir sombras y una inaceptable iluminación por falta de uniformidad al iluminar el área de trabajo.	Utilizando una sola unidad para iluminar más de 25 m2 las mamparas o separadores pueden ocasionar sombras en las mesas.	Racks o Estanterías pueden causar sombras inaceptables cuando las unidades no se sitúan por encima de las islas o pasillos de circulación. Cuidado con los elementos colgantes.

Tabla. 6.1. Criterios de distancias para colocar el Solatube

CARGAS DE NIEVE (granizo)

Los valores de cargas soportados están clasificados como factor de seguridad 3 (100psf)

RESISTENCIA AL AGUA

Test ICBO AC16 y ASTM E-330-93 Test Presión = 2.86psf, confirmaron no existencia de filtraciones o humedad.

PROTECCION UV

³⁵ <http://www.just-rooflights.com/solatube-brightenUp-data.html>

Medición de transmisión del espectro de radiación ultravioleta realizada por Shimadzu UV - 160 UV - Visible grabación con espectrómetro.

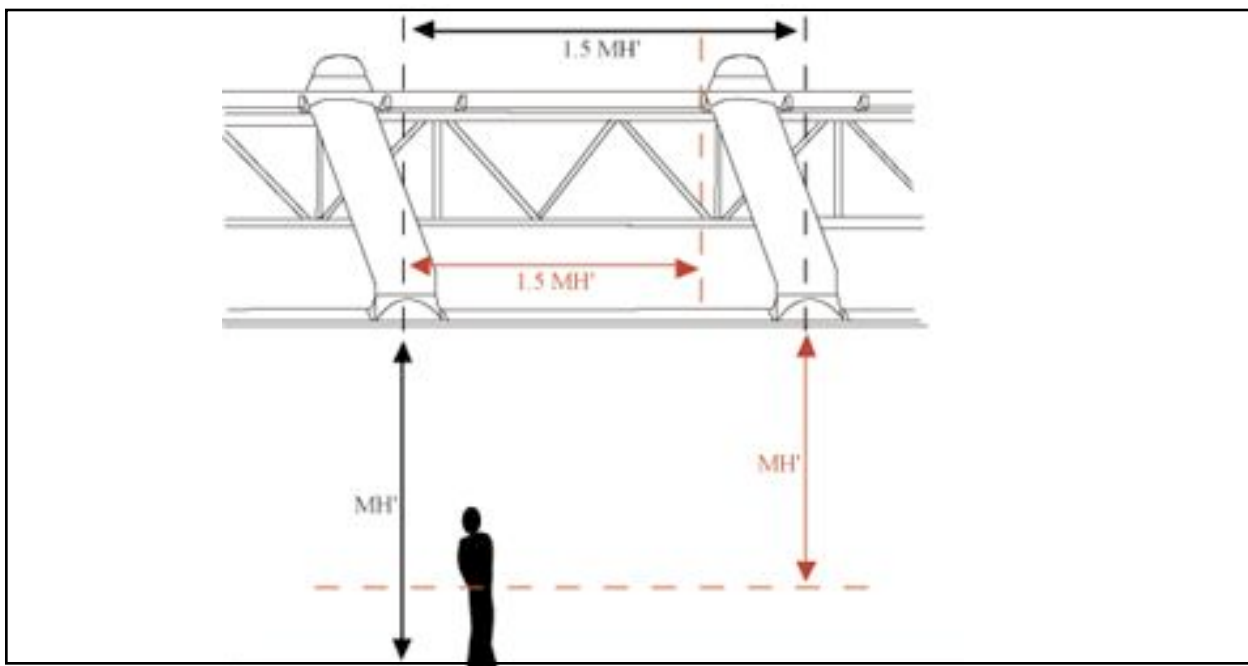


Fig. 6.4. Esquema de ducto utilizado por Cía. Solatube 2010. para utilizar criterios de colocación.

TIPO	MAX	%E FF.	AVE 2400	MIN 2400	AVE 1800	MIN 1800	AVE 1200	MIN 1200
21" Producto suspendido de plafón (10-pies largo)	23,011	74%	12,056	6,230	13,703	8,308	15,750	11,653
21" Producto en plafón abierto	22,981	80%	12,955	6,931	14,628	9,190	16,651	12,720
14" Producto (6 pies de largo)	10,228	75%	5,400	2,808	6,142	3,741	7,052	5,241
10" Producto (6 pies de largo)	5,215	73%	2,672	1,364	3,042	1,826	3,507	2,571

Tabla6.2. VALORES PRESENTADOS POR "IES" (ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY)³⁶ Valores dados para la Ciudad de México en la "simulación" del promedio de flujo luminoso .

³⁶ The Illuminating Engineering Society of North America (IES) is the recognized technical authority on illumination. For over 100 years; its objective has been to communicate information on all aspects of good lighting practice to its members, to the lighting community, and to consumers, through a variety of programs, publications, and services

INDICE DE NATURALIDAD DEL COLOR

Tomando como referencia y estándar el color visto por la luz natural: 98%

RESISTENCIA AL IMPACTO

Test conforme protocolo PA201 con una velocidad del misil de 51fps contra el Domo, confirmación de no ruptura al impacto.

CARACTERISTICAS TERMICAS

Pruebas y cálculos realizados con simulador Enemodal Engineering con pantalla 3.

PRUEBA DE HURACANES

Test realizado para ver el aguante del domo conforme protocolo PA203, para el Condado de Metro Dade en Florida, USA.

APROBACIONES

ICBO ES Report 5057 UL E 170664, E 169572 Ciudad de los Angeles (RR) 25251. Especificas pruebas realizadas para el condado de Metro Dade, Fl. USA

Los valores que se presentan en seguida, son la representación típica de un Solatube de 21", 14" 10" de diámetro, y fue usado en algunos de los simuladores de luz de día, (por ejemplo: Estos valores fueron presentados por la IES

El archivo adjunto de "IES" representa un típico tragaluz Solatube de "21 "de diámetro, y es adecuado para su uso en cualquier simulación estándar o con herramientas de diseño (como, LumenMicro, Lumen Diseñador, AGI, etc.) Hay dos elementos importantes a considerar cuando se utiliza el archivo de "IES" con respecto al flujo luminoso: Varía en función de la ubicación y del sitio, la hora del día, cielo condición, etc. Los cuadros de luz evalúan las siguientes horas: 2400, 1800 y 1200 horas de las 8760 horas en un año el clima típico de las ciudades clave de todo el mundo. Estos resultados reflejan la luz mínima, media, máxima y de la luz resultados que se observan durante el período especificado por hora (es decir, 2.400 horas) para los de 10" de largo por 21 "de diámetro unidad suspendida del techo, y 6" de longitud por 10" y 14" de diámetro

Ciertamente, ejecutar la simulación con el promedio "de flujo luminoso permitirán una mirada de los niveles de iluminación típica alcanzado para cada diseño de Solatube.

Dado que la luz del día es una fuente de luz variable, el "mínimo" y "máxima" salidas de luz para el mismo día de 24:00 horas permiten al diseñador ver lo que está sucediendo en el "peor" y "mejor"

escenarios de caso. En la simulación para cambiar la luz de salida de la herramienta, sólo se cambiarán los "lúmenes" en la herramienta de diseño de software para la adecuada tabulación de los valores de salida en el sitio. No se deben cambiar los valores en archivo de IES, ya que la herramienta de diseño funciona automáticamente con ellos. Define el factor de pérdida de luz en 0.92, no el factor típico por default de 0.8.

6.2. ANALISIS CLIMATOLOGICO

6.2.1. BIOCLIMA

La temperatura, humedad relativa y movimientos del aire son los elementos fundamentales para determinar el bioclima³⁷. El organismo humano es sensible a la acción simultánea de éstos tres elementos del clima; la misma temperatura del aire medida termométricamente, proporciona una sensación de más o menos calor, en relación a la mayor o menor humedad relativa y velocidad del viento (en sentido inverso).

6.2.2. PARÁMETROS

UBICACIÓN: **Zona Esmeralda, Atizapán de Zaragoza. Estado de México, 52930, México.**

LATITUD	19:33°
LONGITUD	99:15°
ALTITUD	2,289MSNM

TEMPERATURA MENSUAL MÁXIMA	19.47° C
TEMPERATURA MENSUAL MINIMA	14.22° C
OSCILACION ANUAL	13.0° C
PRECIPITACIÓN TOTAL	870.9mm
BIOCLIMA	C(w1)(w) ³⁴

Tabla 6.3 Resumen del clima del sitio del "Caso de Estudio". Fuente

³⁷ Puppo, E., Puppo G.A., (1979) Acondicionamiento Natural y Arquitectura, 2 Elementos del clima y del microclima. Ed. Marcombo, Barcelona, España.

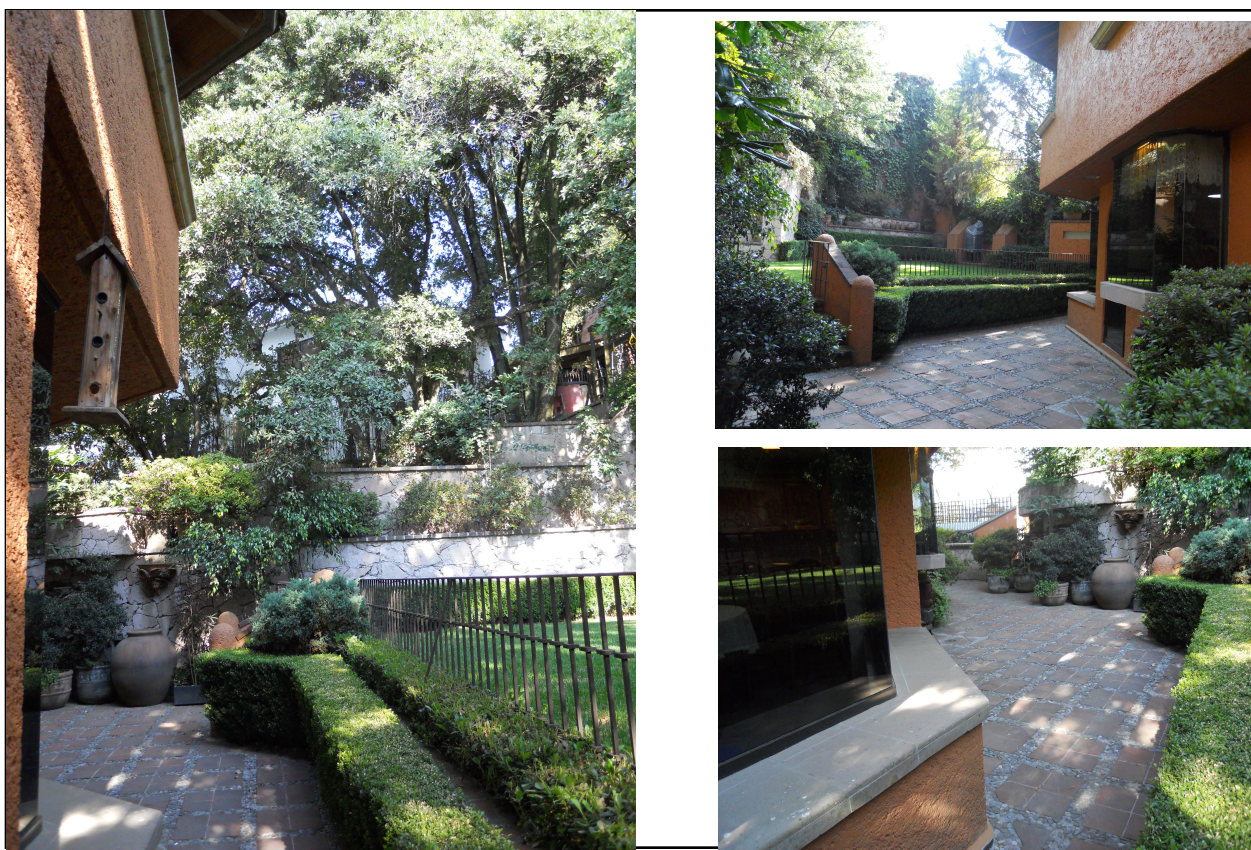


Fig. 6.5. Entorno que sombrea el sitio a estudiar. 2010 Chiluca, Estado de México.

De acuerdo a los datos obtenidos en el Observatorio Meteorológico Nacional para la Estación Tacubaya en la Ciudad de México; de los Datos Normalizados del período comprendido entre año 2001 y 2009 podemos ver que el “Caso de Estudio” está localizado dentro del Bioclima Semi-Frío, el cual corresponde a aquellos lugares en dónde existe una temperatura media del mes más cálido inferior a los 21°C y una precipitación total anual entre los 650 mm. y 1,000 mm.

6.2.3. TEMPERATURA

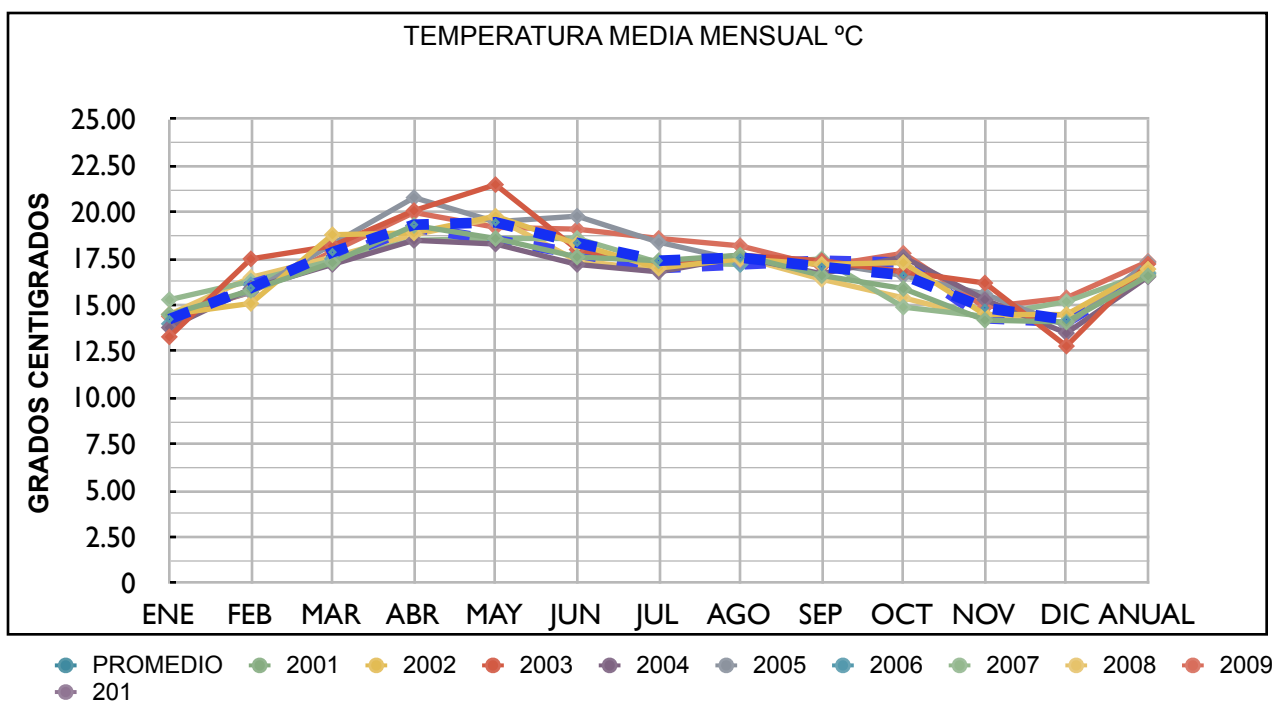
El mes con la temperatura media más alta es Mayo, con 17.36° C y la más baja se presenta en Enero con 14.22° C

6.2.4. HUMEDAD

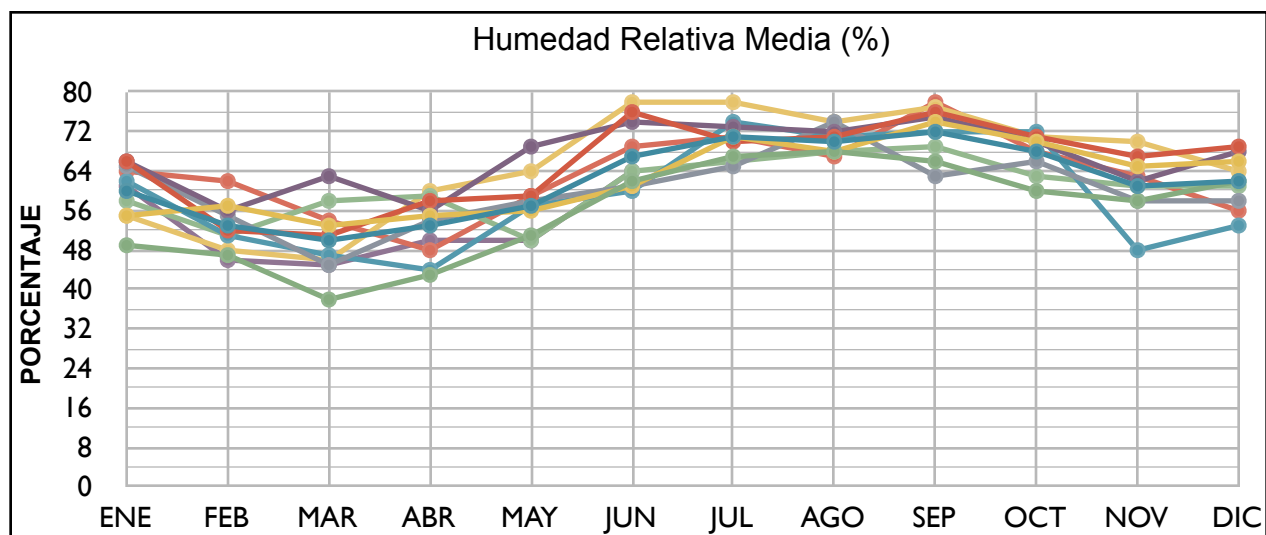
La humedad relativa media se mantiene muy estable todo el año siendo la más baja en Marzo (50%) y la más alta en Septiembre (72%).

6.2.5. PRECIPITACION

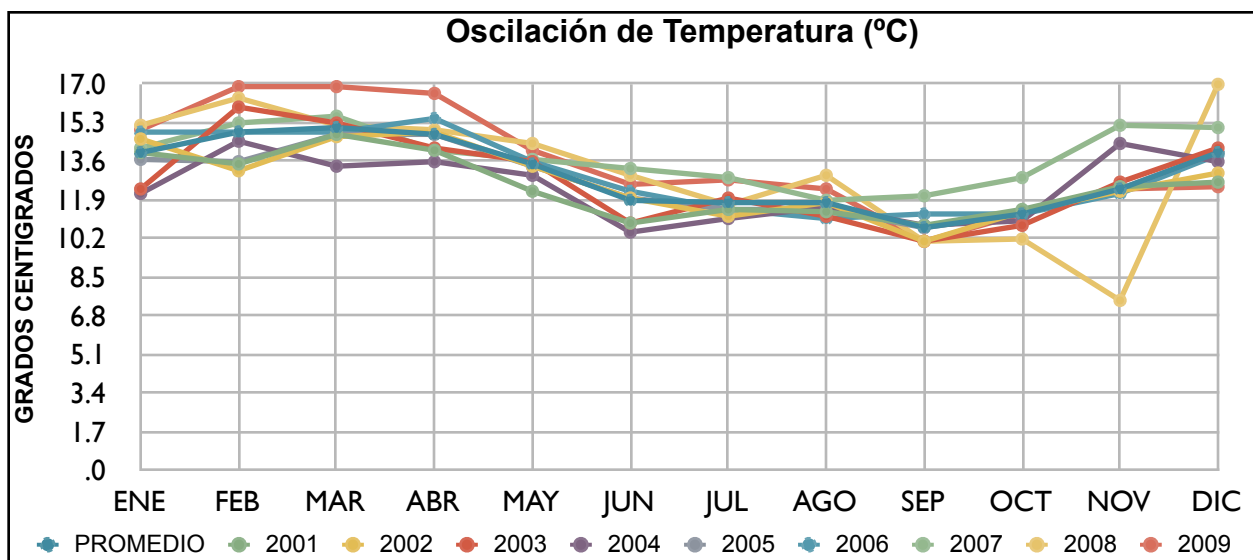
La precipitación total anual es de 870.90 mm lo que le da su carácter de clima Semi-Frío con precipitaciones medias. La precipitación mínima se presenta en Diciembre con 1.2 mm, y en el mes de Agosto es de 183 mm, La precipitación total anual promedio de 2001 a 2009 fue de 870.9 mm..



Gráfica 6.1. Temperatura media mensual de las Normas Climatológicas de 2001 a 2010. Servicio Meteorológico Nacional, Estación Tacubaya.



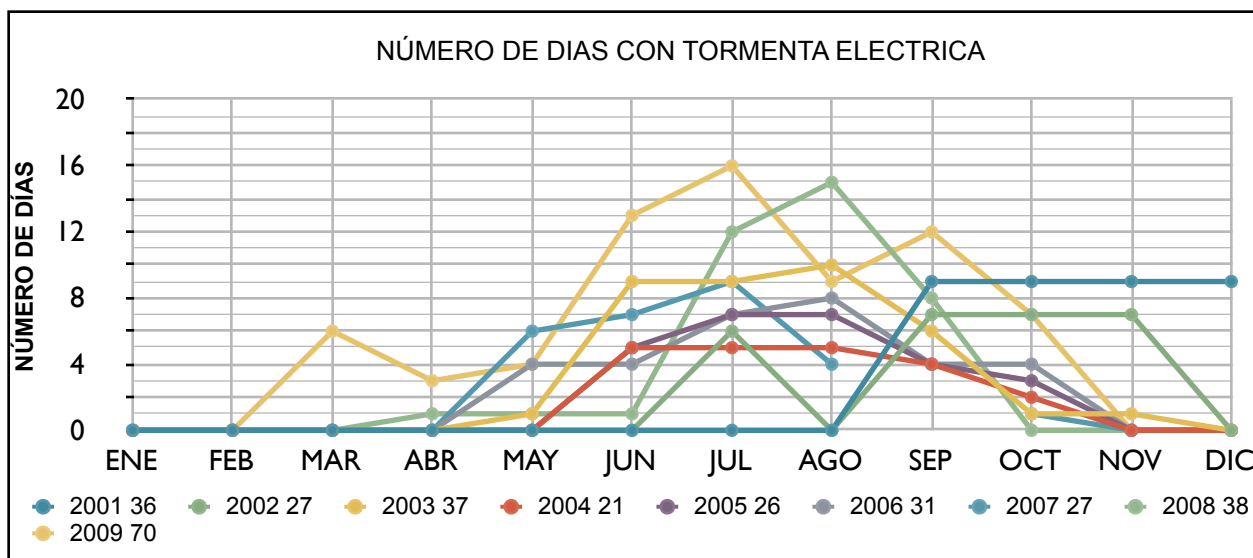
Gráfica 6.2. Humedad relativa media de las Normas Climatológicas de 2001 a 2010. Servicio Meteorológico Nacional, Estación Tacubaya.



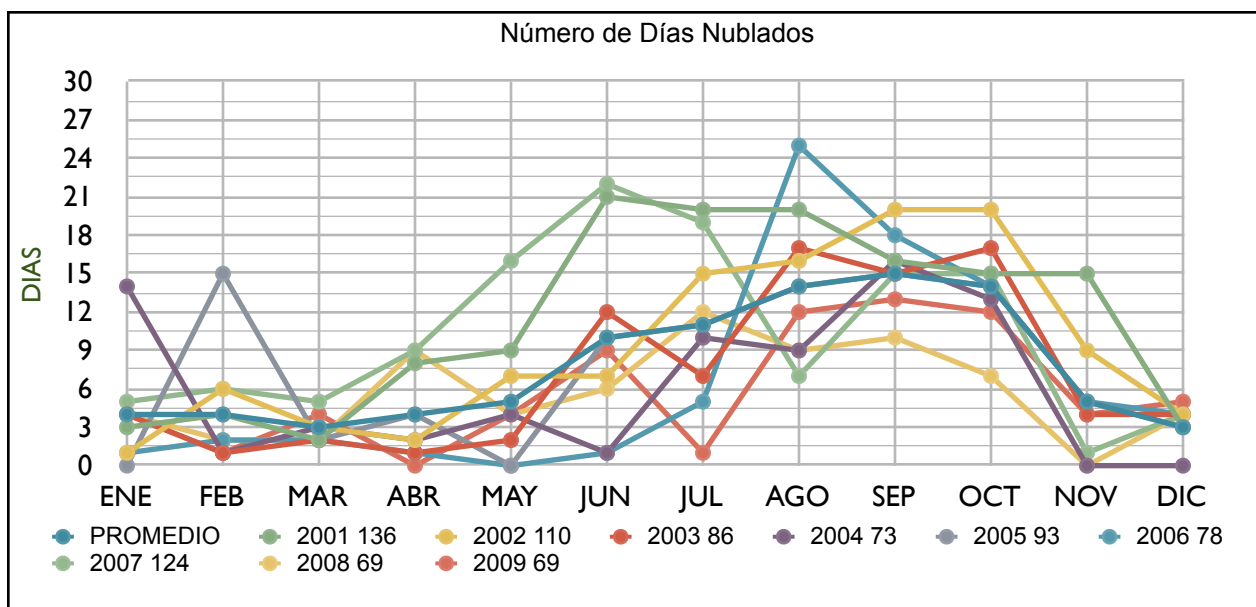
Gráficas 6.3. Humedad Oscilación de Temperatura, Fuente: Normales Climatológicas del 2001 al 2009 del Servicio Meteorológico Nacional, Estación Tacubaya.

6.2.6. NUBOSIDAD

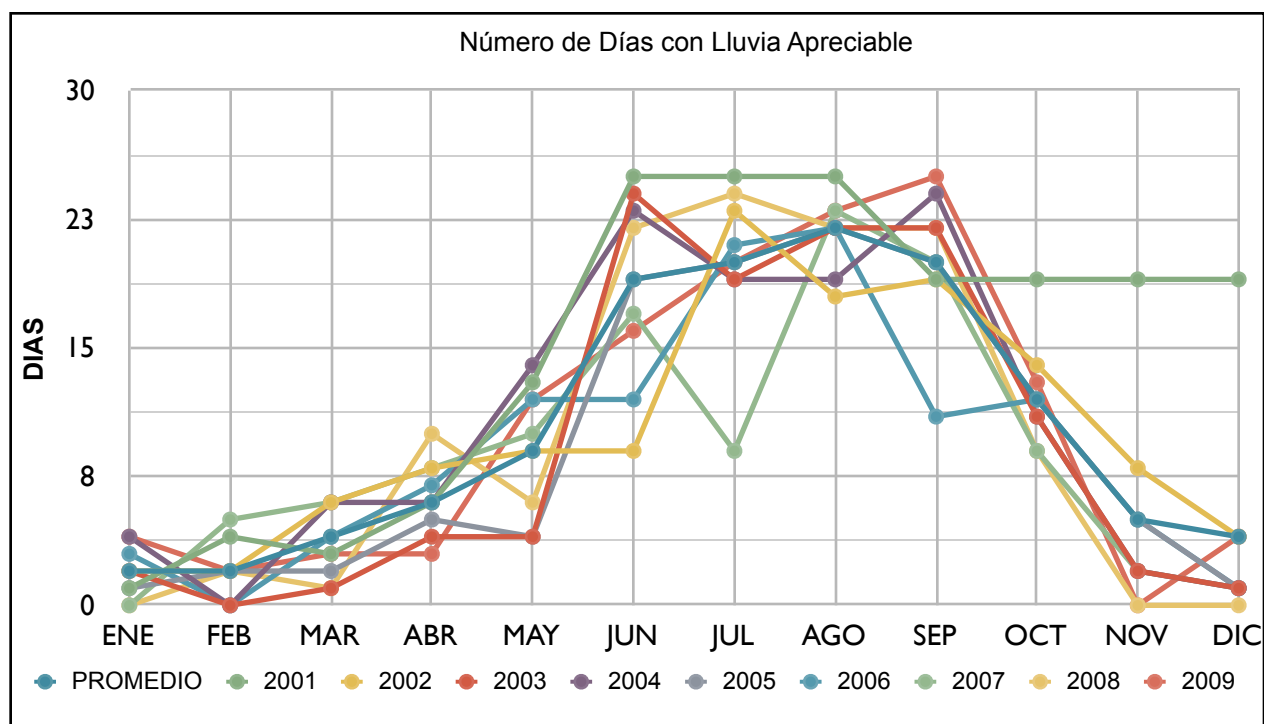
Durante todo el año predominan los días despejados (133 días); pocos días nublados. (92 días), y una cantidad media de nubes de 39 octas. Enero y Febrero son los meses con mayor cantidad de días despejados (17 días cada uno) y Septiembre es el que presenta más días nublados, con 15.



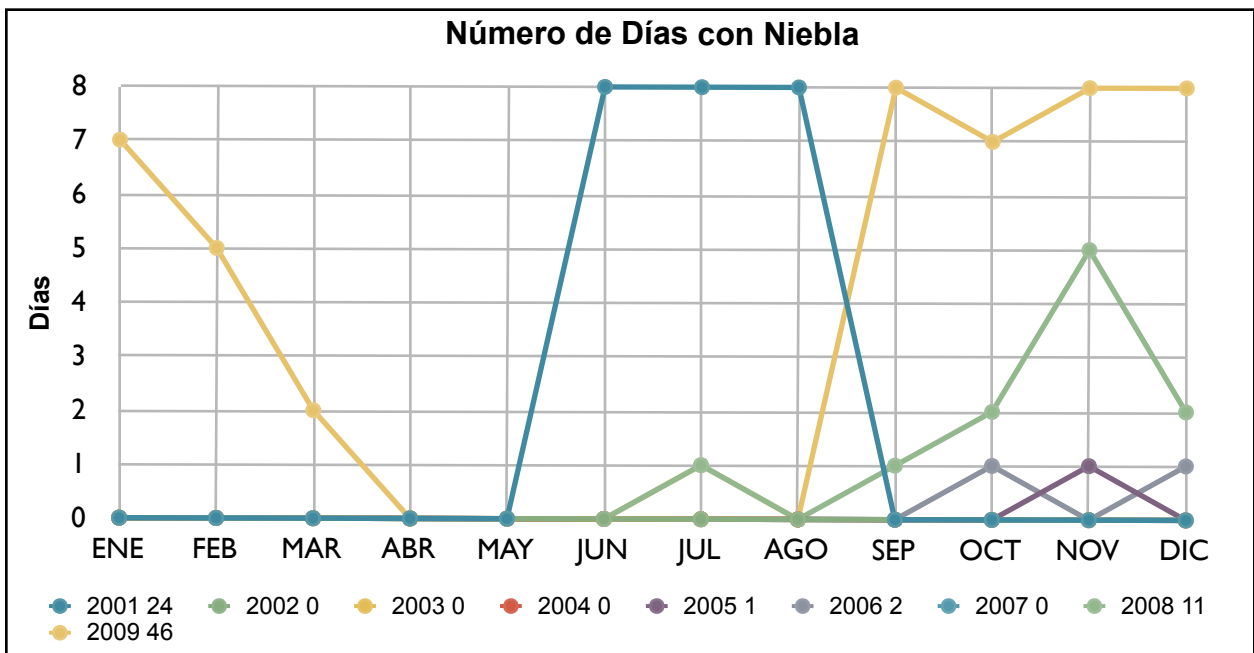
Gráficas 6.4. Número de Días con Tormenta Eléctrica. Fuente: Normales Climatológicas del 2001 al 2009 del Servicio Meteorológico Nacional, Estación Tacubaya.



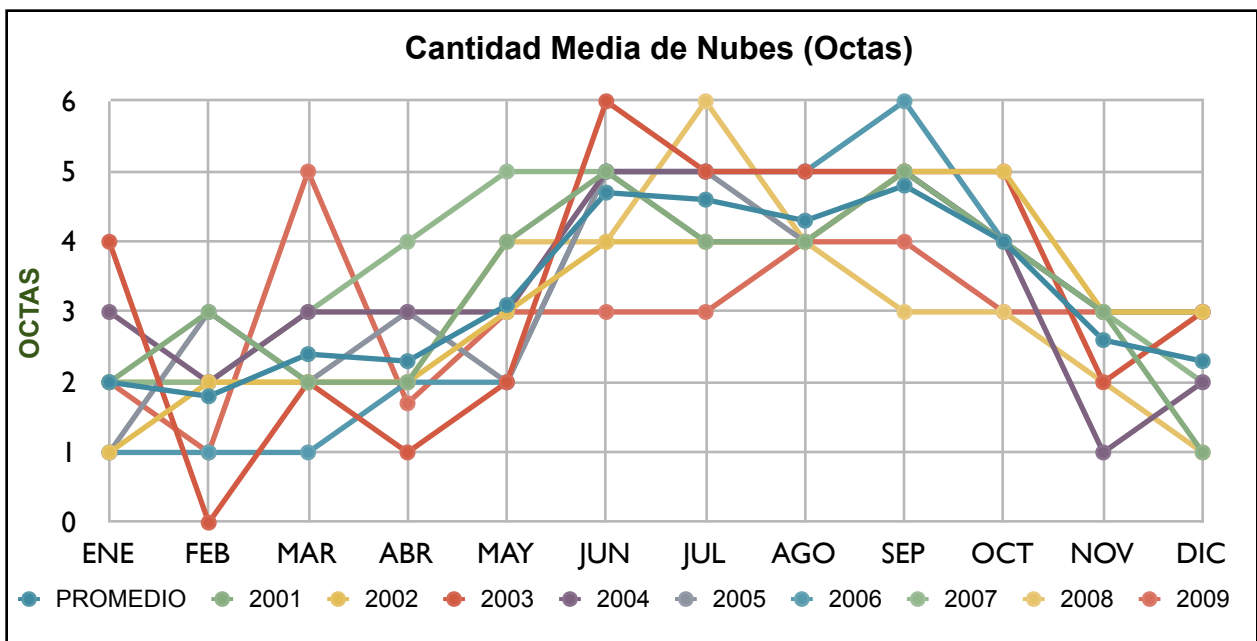
Gráficas 6.5. Número de Días con Nublados..Fuente: Normales Climatológicas del 2001 al 2009 del Servicio Meteorológico Nacional, Estación Tacubaya.



Gráficas 6.6. Número de Días con Lluvia Apreciable.Fuente: Normales Climatológicas del 2001 al 2009 del Servicio Meteorológico Nacional, Estación Tacubaya.



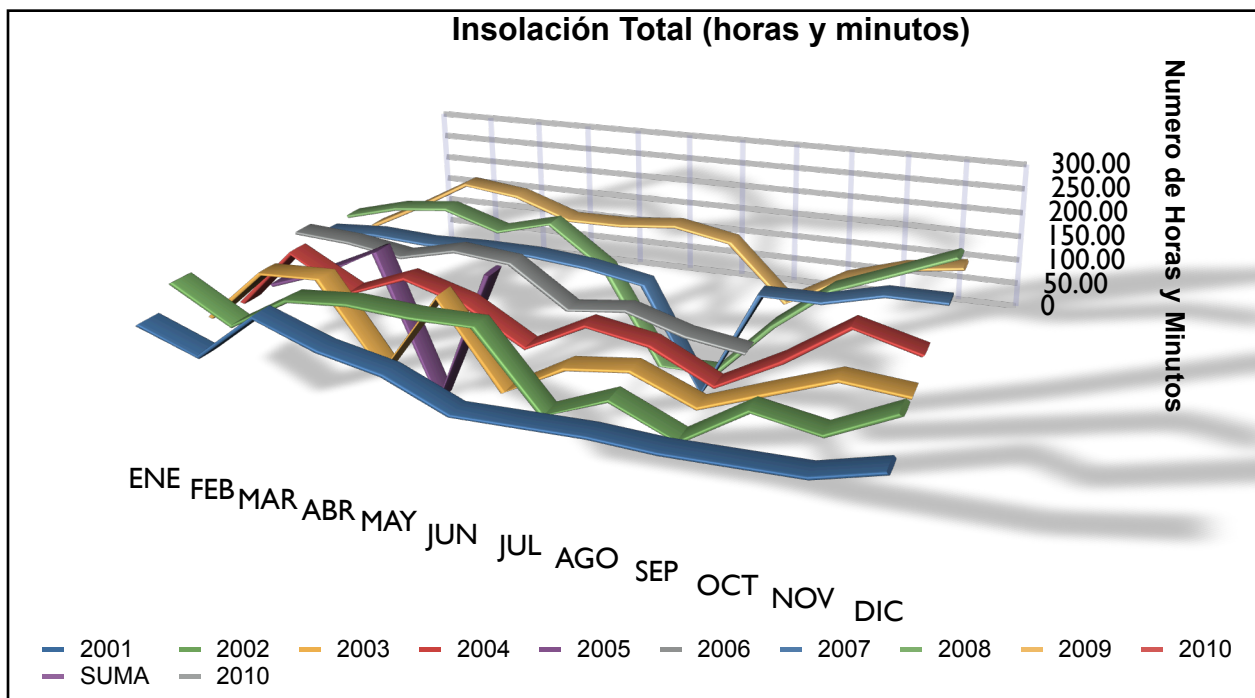
Gráficas 6.7. Número de Días con Niebla. Fuente: Normales Climatológicas del 2001 al 2009 del Servicio Meteorológico Nacional, Estación Tacubaya.



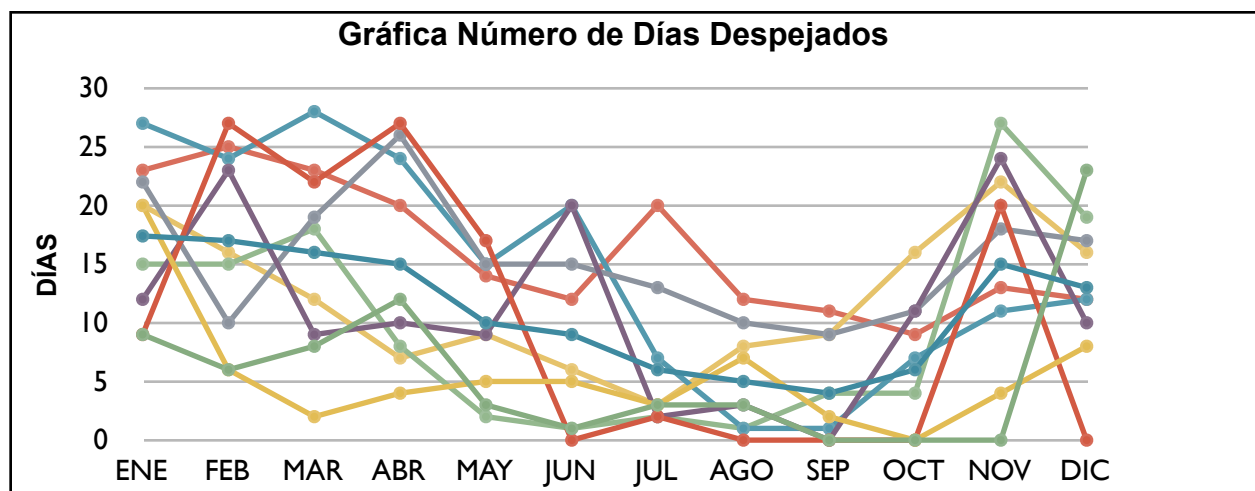
Gráficas 6.8. Cantidad Media de Nubes. Fuente: Normales Climatológicas del 2001 al 2009 del Servicio Meteorológico Nacional, Estación Tacubaya.

6.2.7. INSOLACION

La insolación hora-minutos durante casi todos los meses de año está alrededor de 200, excepto Mayo que se eleva a 240 horas/mes.



Gráficas 6.9. Insolación Total. Fuente: Normales Climatológicas del 2001 al 2009 del Servicio Meteorológico Nacional, Estación Tacubaya.



Gráficas 6.10. Insolación Total. Fuente: Normales Climatológicas del 2001 al 2009 del Servicio Meteorológico Nacional, Estación Tacubaya.

6.2.8 RADIACION SOLAR.

El aprovechamiento de la energía del sol está condicionado por la intensidad de la radiación que se recibe en la tierra o en términos más sencillos, entre más fuerte pega el sol en la tierra, más energía se puede aprovechar. La potencia de la radiación varía según la latitud del lugar, el momento del día, las condiciones atmosféricas y climatológicas y la altitud. La unidad métrica utilizada para su potencia es el watt por metro cuadrado (W/M^2). Para expresar la cantidad de energía recibida se usa kilowatt hora por metro cuadrado por día (KWh/m^2-d); eso es la cantidad de energía (media en kilowatthoras) que llega al área de un metro cuadrado en un sólo día.

Los países que se encuentran en la latitud $+ - 35$ con respecto a ecuador son conocidas como regiones sunbelt o cinturón solar debido a que tienen los niveles mas altos de radiación solar al año del planeta. Los países más importantes que se encuentran en el cinturón solar son China, India, Sudáfrica, Brasil, México. El total de países que lo conforman son 148. Estos países representan el 75% de la población mundial ya que albergan a aproximadamente 5000 millones de habitantes. Estos países tienen características comunes como que son naciones con grandes cantidades de población, están en un proceso importante de desarrollo industrial y crecimiento económico por lo que hay un aumento muy importante de energía



Fig. 6.6.Fuente: Instituto de Investigaciones Eléctricas. Disponible en:
<http://genc.iie.org.mx/genc/siger/frames.asp?mcontador=21336&url=mapas1%2Ehtm>

Irradiación global media en la República Mexicana Datos en kWh/m²-día

Irradiación global media en la Ciudad de México y Toluca Datos en kWh/m²-día³⁸

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
D.F. Tacubaya	4.4	5.2	5.8	5.8	5.7	5.1	4.9	4.9	4.7	4.4	4.2	3.8
México Toluca	4.4	4.9	5.3	5.4	5.2	5.2	4.9	4.9	4.6	4.4	4.2	3.9
		Min	Max	Med								
D.F. Tacubaya		3.8	5.8	4.9								
México Toluca		3.9	5.4	4.8								

Tabla 6.4. Datos Irradiación Global Media para la Ciudad de México. Fuente: Comisión Nacional para el uso de la Energía.

Pero otra similitud es el potencial solar fotovoltaico que tienen debido a sus condiciones climáticas para poder producir grandes cantidades de energía no solo para abastecer esta región sino para exportarla hacia otras zonas del planeta. Existe un gran interés a nivel internacional por esta región por eso hay innumerables empresas están invirtiendo en energía solar, ya que es aun ínfimo el desarrollo de esta tecnología en esta región.

Actualmente solo un 9% de la instalación solar de todo el mundo se encuentra en los países que forman el cinturón solar. Lo que indica todo lo que falta hacer para fomentar y desarrollar más la industria solar fotovoltaica en esta región. Ya que no solo ayudara a generar más electricidad para su consumo sino que le permitirá mejorar la calidad de vida de gran parte de la población que se encuentra en estados de extrema pobreza así como fortalecer las economías locales.

Exceptuando a China que realmente esta invirtiendo fuertemente en la energía solar el resto de las naciones es muy débil su capacidad de producción de energía. Seria importante un desarrollo de este cinturón solar no solo para los países que lo forman sino para el resto.

México está ubicado en el cinturón solar de la tierra. El país tiene una alta incidencia de energía solar en la mayoría de u territorio; la zona norte es de las más soleadas del mundo. Con una irradiación media anual de aproximadamente 5 KWh/m² por día, México es uno de los países a nivel mundial que presenta condiciones ideales para el aprovechamiento masivo de este tipo de energía. Sin embargo, este potencial no se ha aprovechado ampliamente.³⁹

³⁸ Instituto de Investigaciones Eléctricas Disponible en: <http://genc.ije.org.mx/genc/siger/frames.asp?mcontador=21336&url=mapas1%2Ehtm>

³⁹ Comisión Nacional para el uso eficiente de la energía- 2010.

6.2.9 CONFORT VISUAL

Cuando se evalúa la iluminación interior alcanzada por diferentes alternativas de diseño de un local, estas deben ser contrastadas con los niveles recomendados para la actividad visual a desarrollarse en el local, de modo que se asegure la realización de esta tarea con eficacia y confort.

Los niveles de iluminación indicados en las recomendaciones varían no solo según las actividad sino que además fluctúan entre diferentes países. Por otra parte, según el país a que se refiera, estas cambian en los niveles de iluminación recomendados desde 1930. Se presenta una comparación de los niveles recomendados para algunas tareas seleccionadas en edificios no residenciales en 20 países. También se presenta las variaciones históricas de los datos publicados sobre los niveles recomendados.

En general, las recomendaciones de niveles de iluminación son efectuadas con el fin de mejorar la seguridad de los trabajadores en la industria, productividad, el aprendizaje en las escuelas, y la recuperación de los pacientes en los hospitales. Muchos son los grupos que tienen interés en influir en la selección de niveles de iluminación recomendados.

La última edición de la IESNA (Illuminating Engineering Society of North America), especifica valores para aproximadamente 250 actividades visuales que se realizan en interiores de edificios no residenciales y cerca de 300 específicas aplicaciones industriales , y un número similar de actividades y aplicaciones han sido propuestas en Europa por CEN (Europeans Standard).

Si se considera, a los fines de un primer análisis, que todos los otros factores se mantuvieron constantes, los cambios en las recomendaciones de los niveles de iluminación interior en los edificios no residenciales corresponden a la necesidad de ahorrar energía. Por ejemplo, los niveles recomendados en URSS se incrementan en un factor de 10 o más desde 1930, Contrariamente, los niveles en muchos países han declinado en un factor de dos o tres veces desde la crisis energética de los 70.

Los datos fueron tomados de fuentes nacionales, manuales de iluminación, y material publicado. Las actividades principales en los tipos de edificios incluye, oficinas, aulas, hospitales y tareas visuales en industrias. La mayoría de los valores son representados en forma de iluminancia horizontal, algunas fuentes presentan rangos para algunas actividades.

Las recomendaciones de niveles de iluminación tienden a ser mas específicas con el tiempo. Algunos países registran valores muy detallados para algunas aplicaciones y generales para otras.(por ejemplo Japón, especifica 40 rangos diferentes para comercios y solo cuatro para escuelas).

Los países varían considerablemente en la frecuencia con que ellos revisan sus recomendaciones. Por un período de mas que cuatro décadas (1948-1990), Suecia no cambio sus niveles de iluminación recomendados, para la iluminación genera en oficinas, mientras que Alemania la cambió seis veces. Bélgica no cambió sus recomendaciones entre 1964 y 1992. En Finlandia, la primera recomendación no fue publicada hasta 1971, y en Argentina hasta 1972.

La Tabla de la siguiente página muestra los valores indicados según diferentes países para los valores recomendados de iluminación, en todos los casos se refiere a iluminación sobre plano horizontal, excepto para los indicados sobre pizarrones en aulas que son indicados en iluminación sobre plano vertical.

En algunos casos los valores son recomendados en un rango y en el caso de oficinas, puesto de trabajo con computadoras (PC) el rango indica "recomendado-máximo".

El Reglamento de Construcciones de la Ciudad de México, sólo contempla los casos más sencillos para iluminar con luz natural; ésto es la solución que propone es ventanas o tragaluces; y las áreas internas y profundas sólo propone que no sean habitables y resueltas con iluminación artificial. Este dice así: "Se permite la iluminación diurna natural por medio de domos o tragaluces en los casos de baños, incluyendo los domésticos, cocinas no domésticas, locales de trabajo, reunión, almacenamiento, circulaciones y servicios; en éstos casos, la proyección horizontal del vano libre del domo o tragaluz puede dimensionarse tomando como base mínima el 4% de la superficie del local, excepto en industrias que será del 55%. El coeficiente de transmisibilidad del espectro solar del material transparente o translúcido de domos y tragaluces en estos casos no debe ser inferior al 85%

Como podemos ver, en documentos que rigen lineamientos de solución en ningún momento se plantea la solución con otras alternativas y menos el ahorro energético mediante nuevas estrategias de diseño.

Se visualizaran los niveles de luminancia y el factor luz de día, del ejemplo interior fijo en una fecha y hora concreta, o a lo largo de todo el día, o una serie de ejemplos a lo largo de todo el año.

REQUISITOS MÍNIMOS DE ILUMINACIÓN ARTIFICIAL					
TIPO DE EDIFICACIÓN	Local	Nivel de Iluminación	TIPO DE EDIFICACIÓN	Local	Nivel de Iluminación
HABITACIONAL					
Vivienda unifamiliar	Circulaciones horizontales y verticales	50 luxes			
COMERCIAL					
Abast. almacenamiento	Almacenes	50 luxes	Tiendas de productos básicos y especialidades	En general	250 luxes
	Circulaciones	100 luxes	Tiendas de autoservicio		
Mercados públicos	Naves	75 luxes	Tiendas departamentales y Centros comerciales		
Venta de combustibles y explosivos	Áreas de servicio	70 luxes	Agencias y talleres de reparación		
	Áreas de bombas	200 luxes			
Entretenimiento y Recreación social					
Espectáculos y reuniones			Tiendas de servicios y servicios diversos	Baños	100 luxes
	Salas durante la función	1 lux			
	Iluminación de emergencia	25 luxes	Baños públicos	Sanitarios	75 luxes
	Salas durante los intermedios	50 luxes	Gimnasios y adiestramiento físico	En general	250 luxes
	Vestibulos	150 luxes			
	Circulaciones	100 luxes	SERVICIOS		
	Emergencia en circulaciones y sanitarios	30 luxes	Administración		
Deportes y recreación			Bancos, casas de bolsa y casas de cambio	Áreas y locales de trabajo	250 luxes
Prácticas y/o espectáculos deportivos	Circulaciones	100 luxes		Circulaciones	100 luxes
Alojamiento				Cuando sea preciso apreciar detalles	100 luxes
Hoteles y moteles	Habitaciones	75 luxes			
Casas de huéspedes	Circulaciones	100 luxes	Oficinas privadas y públicas	Cuando sea preciso apreciar detalles : Toscos o burdos	200 luxes
Albergues turísticos juveniles	Vestibulos	150 luxes		Medianos	300 luxes
	Áreas y locales de trabajo	250 luxes		Muy finos	500 luxes
Campamentos para remolques y campismo	Estacionamiento de vehículos	30 luxes	Hospitales y centros de salud		
	Circulaciones	75 luxes	Atención médica o dental a usuarios externos	Consultorios y salas de curación	300 luxes
Policia y bomberos				Salas de espera	125 luxes
Centrales de policía, estaciones de bomberos y cuarteles	Áreas y locales de trabajo	250 luxes	Atención a usuarios internos	Circulaciones	100 luxes
Funerarios				Salas de encamados	75 luxes
Agencias funerarias	Velatorios	125 luxes	Servicios médicos de urgencia(públicos y privados)	Emergencia en consultorios y salas de curación	300 luxes
Transportes			Asistencia social		
	Entrada y salida	300 luxes	Residencias colectivas	Circulaciones horizontales y verticales	50 luxes
	Espacio de circulación, pasillos, rampas y zonas peatonales	100 luxes	Asistencia animal		
Estacionamientos privados y públicos, incluyendo encierros de vehículos	Espacios para estacionamientos (cajones)	50 luxes	Centros antirrábicos, clínicas y hospitales veterinarios	Salas de curación	300 luxes
	Caseta de control	200 luxes	Educación e instituciones científicas		
	Zona de espera	50 luxes	Atención y educación preescolar	Aulas	250 luxes
	Pasillos y cajones	50 luxes			
Servicios de mudanzas	En general	250 luxes	Educación formal básica y media	Aulas y laboratorios	300 luxes
INDUSTRIA				Circulaciones	100 luxes
	Áreas de trabajo en que no sea preciso apreciar detalles.	100 luxes	Educación formal media-superior y superior, y educación informal	Aulas y laboratorios	300 luxes
Para todo tipo de industria	Áreas de trabajo en que sea preciso apreciar detalles: toscos o burdos	200 luxes		Circulaciones	100 luxes
	medianos	300 luxes	Institutos de investigación	Aulas y cubículos	250 luxes
	muy finos	500 luxes	Exhibiciones		
	Área de almacenamiento	50 luxes	Galerías de arte, museos, centros de exposiciones	Salas de exposición	250 luxes
	Circulaciones	100 luxes		Vestibulos	150 luxes
	Comedores	150 luxes		Circulaciones	100 luxes
Comunicaciones			Centros de información	Salas de lectura	250 luxes
Servicio al público de correos y telégrafos, mensajería y paquetería.	En general	250 luxes	Instituciones religiosas		
INFRAESTRUCTURA			Lugares de culto, (templos, iglesias y sinagogas)	Áreas de reunión	100 luxes
Infraestructura		De acuerdo a los locales de que se trate	Alimentos y bebidas		
ESPACIOS ABIERTOS			Servicios de alimentos y bebidas con o sin esparcimiento	En general	250 luxes
Plazas y explanadas	Circulaciones	75 luxes		Restaurantes	50 luxes
Parques y jardines	Estacionamientos	30 luxes		Centros Nocturnos	30 luxes
				Cocinas	200 luxes

Tareas y clases de local	Iluminancia media en servicio (lux)		
	Mínimo	Recomendado	Óptimo
Zonas generales de edificios			
Zonas de circulación, pasillos	50	100	150
Escaleras, escaleras móviles, roperos, lavabos, almacenes y archivos	100	150	200
Centros docentes			
Aulas, laboratorios	300	400	500
Bibliotecas, salas de estudio	300	500	750
Oficinas			
Oficinas normales, mecanografiado, salas de proceso de datos, salas de conferencias	450	500	750
Grandes oficinas, salas de delineación, CAD/CAM/CAE	500	750	1000
Comercios			
Comercio tradicional	300	500	750
Grandes superficies, supermercados, salones de muestras	500	750	1000
Industria (en general)			
Trabajos con requerimientos visuales limitados	200	300	500
Trabajos con requerimientos visuales normales	500	750	1000
Trabajos con requerimientos visuales especiales	1000	1500	2000
Viviendas			
Dormitorios	100	150	200
Cuartos de aseo	100	150	200
Cuartos de estar	200	300	500
Cocinas	100	150	200
Cuartos de trabajo o estudio	300	500	750

20

Tabla 6.5. Fuente: Aplicaciones Eficientes de Lámparas, (1996), Comité Español de Iluminación (CEI) Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE), Cuadernos de Eficiencia Energética de Iluminación no.1 y no.2

6.3 MODELO EXPERIMENTADO

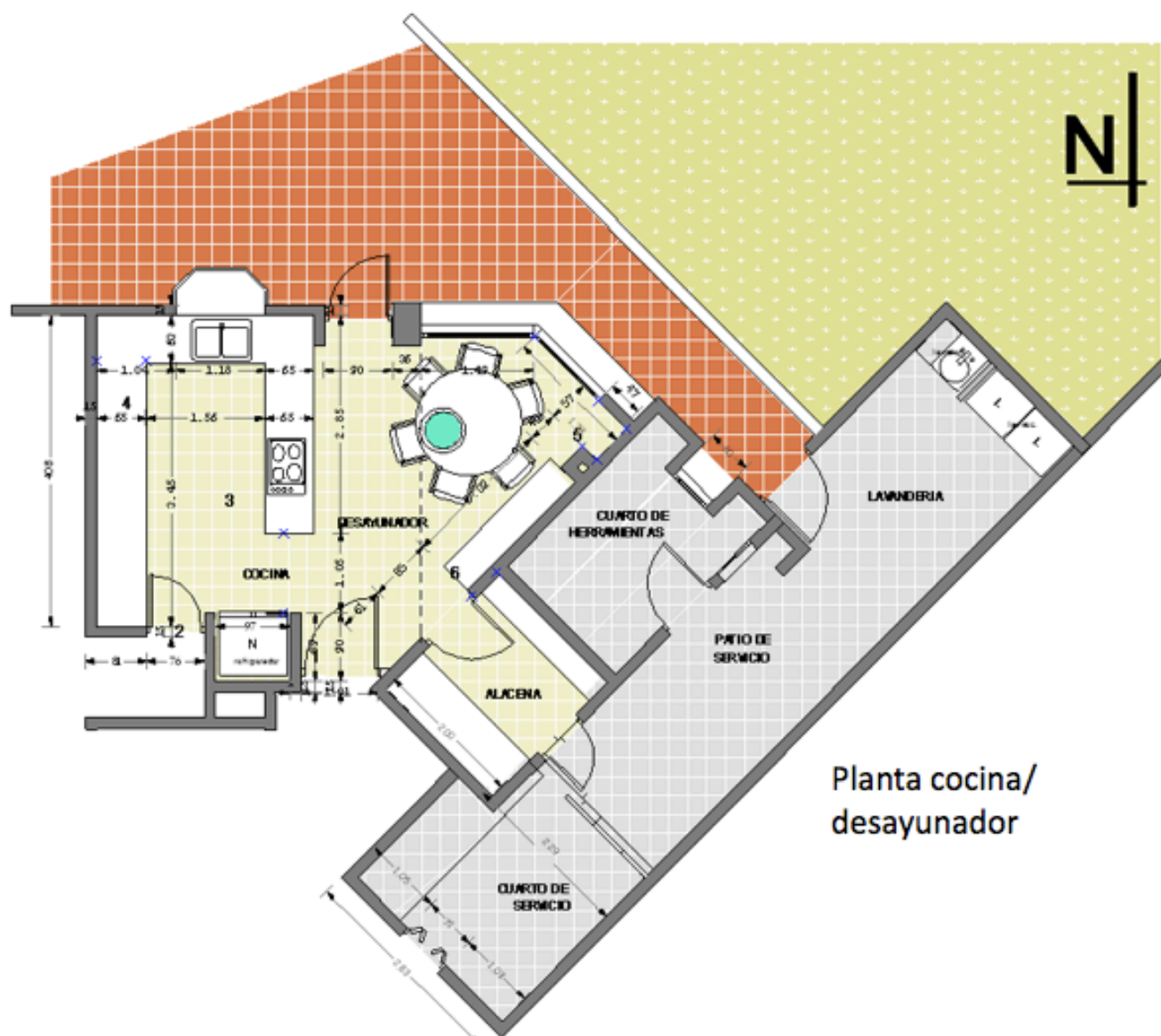


Fig. 6.7 Planta cocina-desayunador. En esta área está ubicado el "Lumiducto".

PROCESO DE EVALUACION Y MEDICION EN SITIO



Fig. 6.8 Evaluación de la aportación lumínica sólo del "lumiducto".



Fig. 6.9. Se cubrió la entrada de luz natural en ventanas para medir ganancias del Lumiducto.

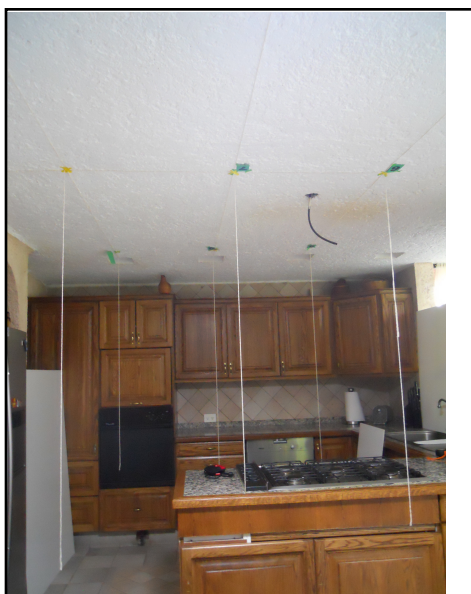


Fig. 6.10. Se ubicó en plafón red de puntos para tomar mediciones en distintos días en el mismo lugar.



Fig. 6.11. Proceso de toma de valores cubriendo ventanas.



Fig. 12. Luxómetro utilizado.

Fig. 6.13. Desayunador con las aportaciones lumínicas por ventanas y "Lumiducto"

El estudio de la eficiencia del "Lumiducto Solatube" de 35cm de diámetro se realizó en el área cocina-desayunador de casa-habitación ubicada en "Zona Esmeralda", Atizapán de Zaragoza, Estado de México.

La iluminación natural que se puede obtener en ésta área la bloquea una densa masa de árboles de Encino.

Tiene un área irregular de 25.50m² y una altura libre de 2.50m. Los acabados con que cuenta son:

- Piso de loseta de 30x30, acabado mate rugoso, color beige, con un factor de reflexión (p) de 0.2.
- Muros en aplanado rústico color beige/sándalo, con un factor de reflexión (p) de 0.3
- Plafón en aplanado medio color beige/sándalo, con un factor de reflexión de (p) de 0.5⁴⁰
- Ventanas a una altura de 2.05m; a 0.45m sobre el piso; excepto las que están sobre el área del fregadero que van a partir de 1.20m sobre el piso hasta el plafón y tienen una altura de 1.30m con vidrio filtrasol, cancelas de aluminio color duradodick.
- La disposición del mobiliario y elementos arquitectónicos, bloquean la entrada de luz natural.

⁴⁰ Cálculos de iluminación en interiores. <http://edison.bupc.edu/curs/ilum/interior/iluint2.html>

Las mediciones de eficacia del “Lumiducto” se hizo marcando una red de 11 puntos en el plafón de la cocina-desayunador, con el fin de que todos los días de medición fueran en los mismos lugares; en el exterior también se ubicaron cuatro puntos, y uno más en la azotea, en dónde está colocado el colector.

Se utilizó un luxómetro modelo LTT Lutron LX-1108, Light Meter 4 light type, CE,

Los datos que se obtuvieron fueron a partir de medir el nivel de iluminación en 5 días diferentes en el año y 3 mediciones por día. Cada una de éstas sesiones se hizo primero midiendo la entrada de luz total, tanto de ventanas como del “Lumiduct”, en segundo lugar, se midió sólo la entrada de luz en ventanas y la tercera sólo la entrada de luz del “Lumiduct”. Todas las mediciones del “Lumiducto” se hicieron bloqueando la luz de las ventanas en blanco; a excepción del último día (7/nov/2010), que fueron bloqueadas con fondo negro.

Los días que se efectuaron la toma de datos fueron: 9, 12, y 14 de Abril; 17 de Mayo y 7 de Noviembre.

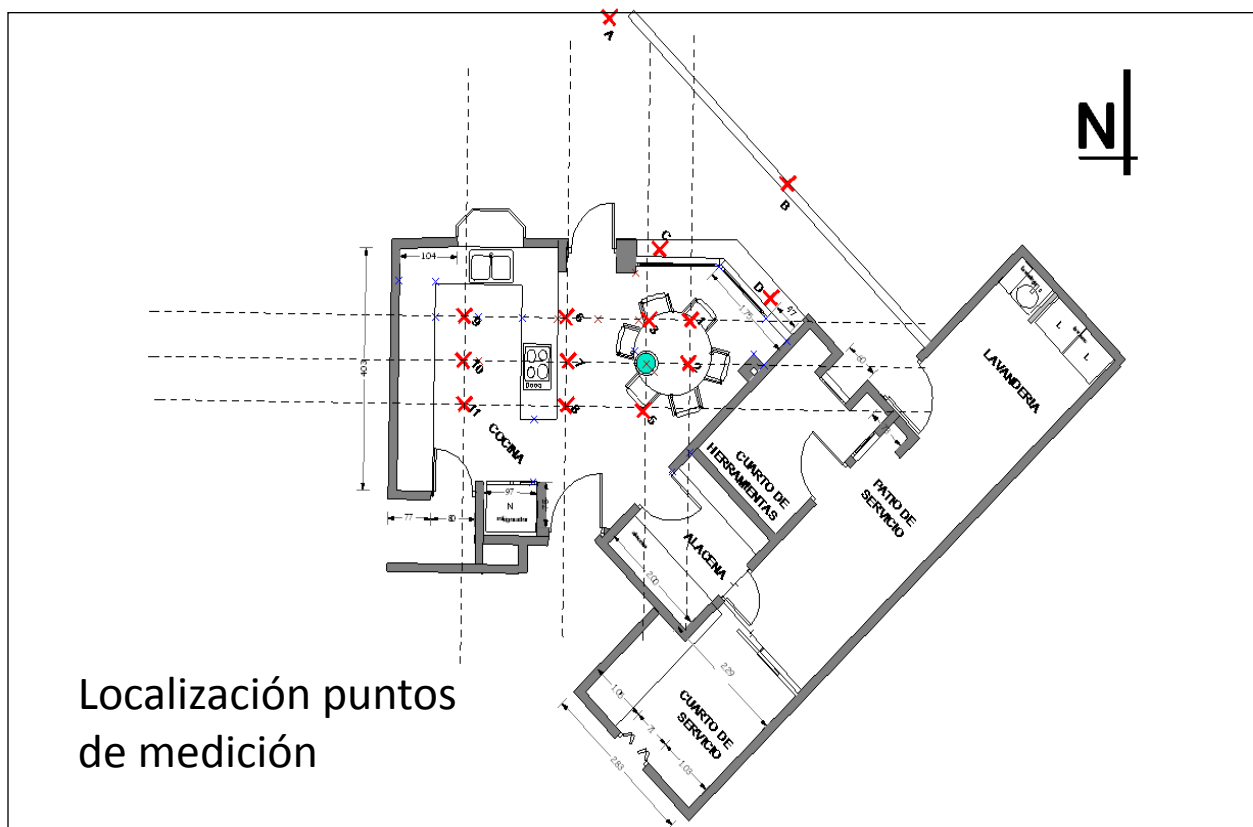


Fig. 6.14. Ubicación en planta de los puntos en que se tomaron medidas.



Fig. 6.15. Planta en dónde se ubican los puntos desde donde se tomaron las fotografías.

6.3.2. ANALISIS DE LOS DATOS OBTENIDOS

Los requerimientos de iluminación medidos en luxes para una cocina son:

Mínimo: 100 lux Recomendado 150 lux Optimo 200 lux.⁴¹

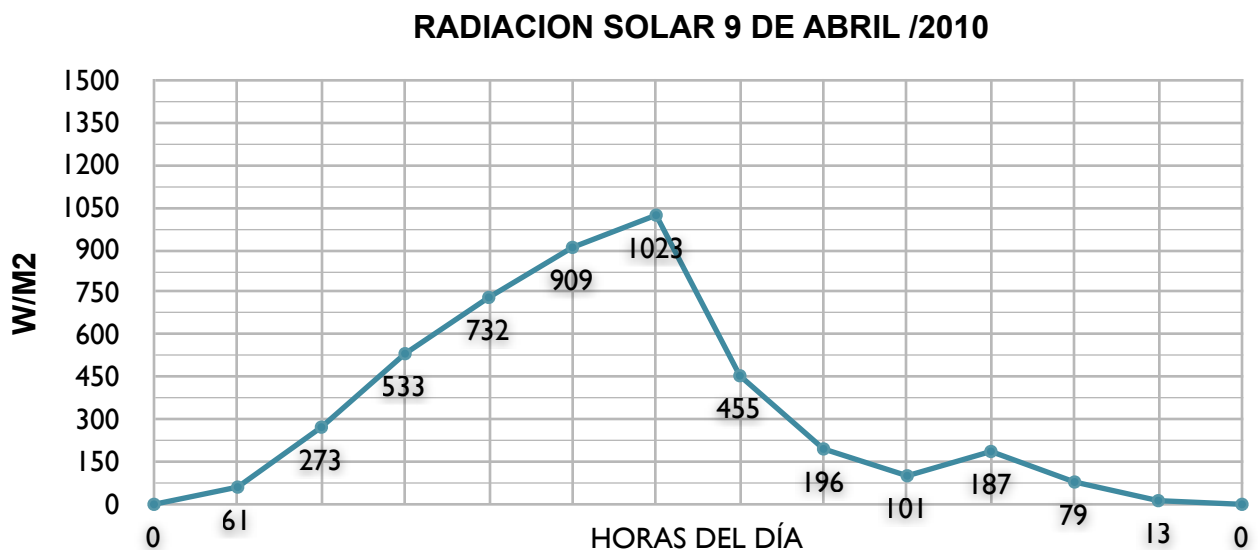
El análisis de los datos obtenidos nos dan como resultado que:

- El 9 de abril del 2010, la radiación solar en W /m² fue en ascenso a través del día; desde las 9:00 de la mañana que se tomó la primera medición, se tienen valores de 533 W/m²; decayendo éstos después del mediodía. A finales de abril se presentan las primeras lluvias con lo que se tuvo un día nublado después de las 14:00hrs.
- Al observar la gráfica que nos da los valores en luxes tomada a las 9:00 de la mañana; si sólo se usa la luz proveniente de las ventanas, los niveles de iluminación son muy bajos; alrededor de 50-70 luxes en los puntos cercanos (entre 1.00 y 2.00mts de distancia de las ventanas); y los puntos que quedan en

⁴¹ Comité Español de Iluminación (CEI), (1996), Aplicaciones eficientes de lámparas, Instituto para la diversificación y ahorro de energía (IDAE), Cuadernos de eficiencia energética de Iluminación no.1 y no.2

el área de trabajo de la cocina los niveles son tan bajos (entre 20 y 8 luxes) que se necesita utilizar luz artificial por completo. Al medir sólo la luz entrante por el “Lumiducto”, se puede observar que los niveles de iluminación se elevan, siendo el punto bajo el domo el que alcanza los máximos niveles de iluminación natural (150 LUX).

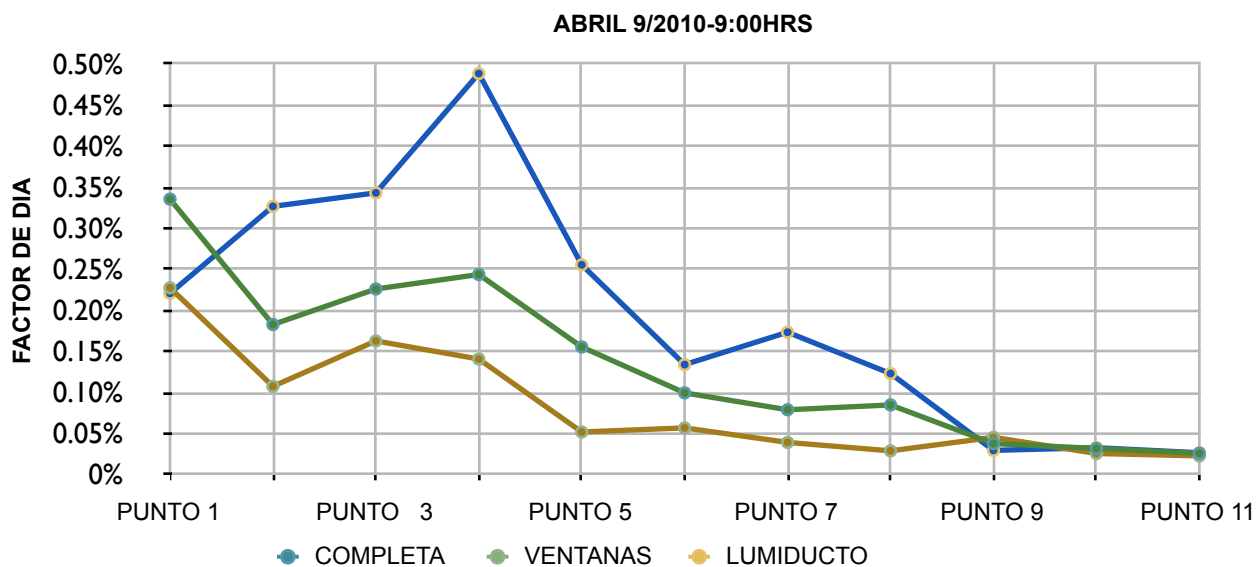
- La difusión de la luz utilizando solamente el domo vertical, se da entre los 120 y 170 luxes en el área del desayunador; (+/-3:00m de diámetro) se conservan estos niveles de iluminación.
- Al tomar las medidas de la cantidad de luz que entra por las ventanas y el “Lumiducto”, la mayor aportación se obtiene por medio del “Lumiducto”.
-



Gráfica 6.11. Valores tomados el 9 de abril en cocina-desayunador de casa-habitación en Zona Esmeralda

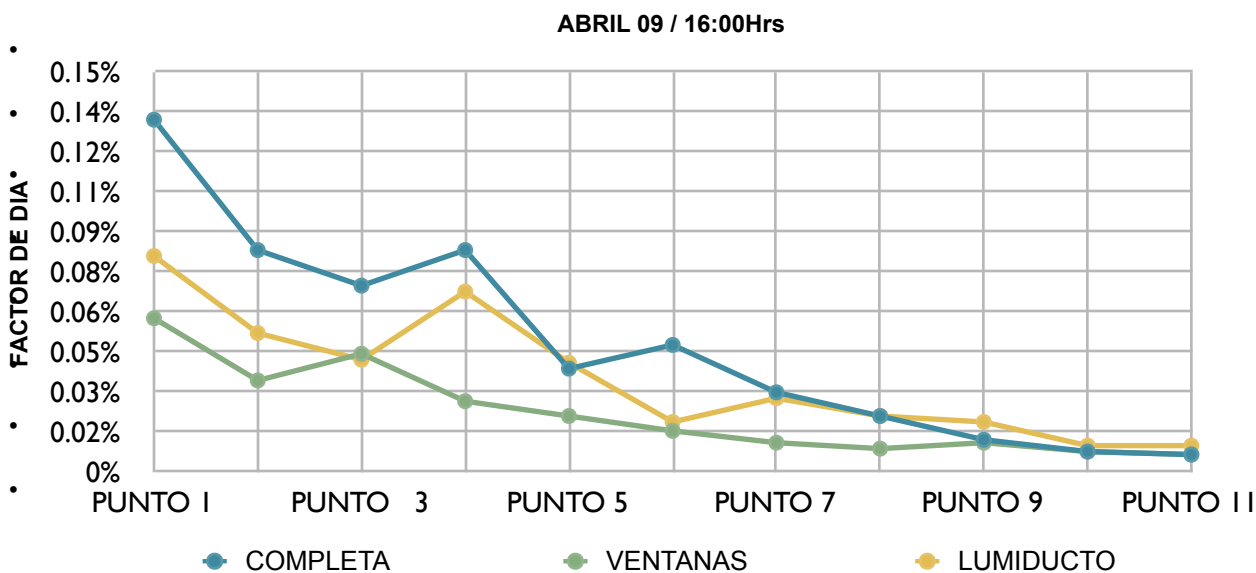
Es importante hacer notar que la percepción al bloquear las ventanas con color blanco es de una mayor cantidad de luz y una sensación muy agradable de luminosidad.

- Los niveles de iluminación también son afectados por la poca reflexión de los materiales de acabados usados en la cocina y la gran masa arbórea en la parte exterior bloquean la iluminación natural la mayor parte del año y de las horas del día.
- En las horas del medio día, sucede el mismo patrón pero los niveles en luxes aumentan de tal manera que se alcanzan los niveles óptimos de iluminación requeridos.
- Se tienen niveles mayores a 200 luxes bajo el domo tubular y en los puntos cercanos a éste.

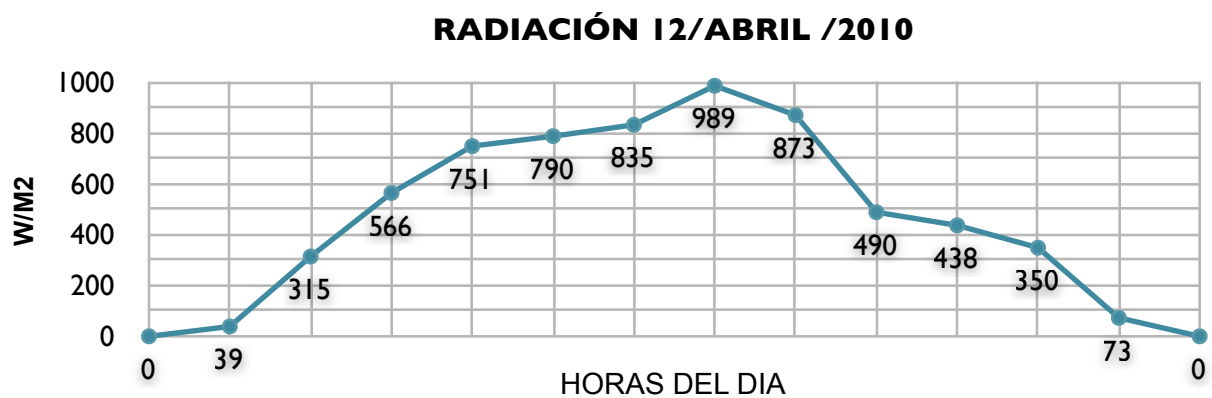


Gráfica 6.12. Valores tomados el 9 de abril en cocina-desayunador de casa-habitación en Zona Esmeralda

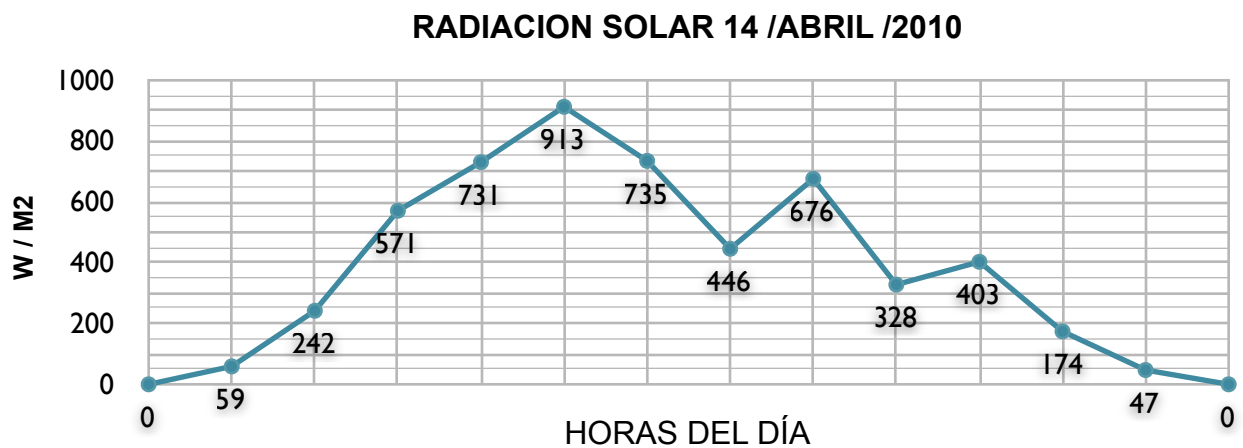
- A las 4:00 de la tarde volvemos a los niveles de iluminación que se tuvieron en la mañana; influyó mucho las condiciones climáticas de los días de medición; así los días despejados se tuvieron niveles más altos aún en noviembre que los que se tuvieron en abril.



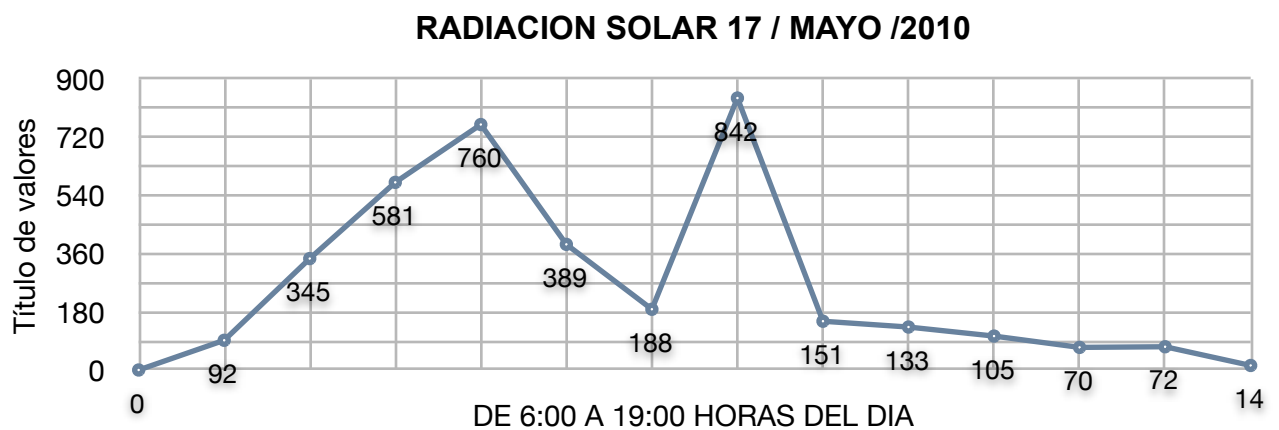
Gráfica 613. Valores tomados el 9 de abril en cocina-desayunador de casa-habitación en Zona Esmeralda



Gráfica 6.14.Fuente: Servicio Meteorológico Nacional, Normales Climatológicas, Estación Madin. Radiación Solar del 12 de abril del 2010,

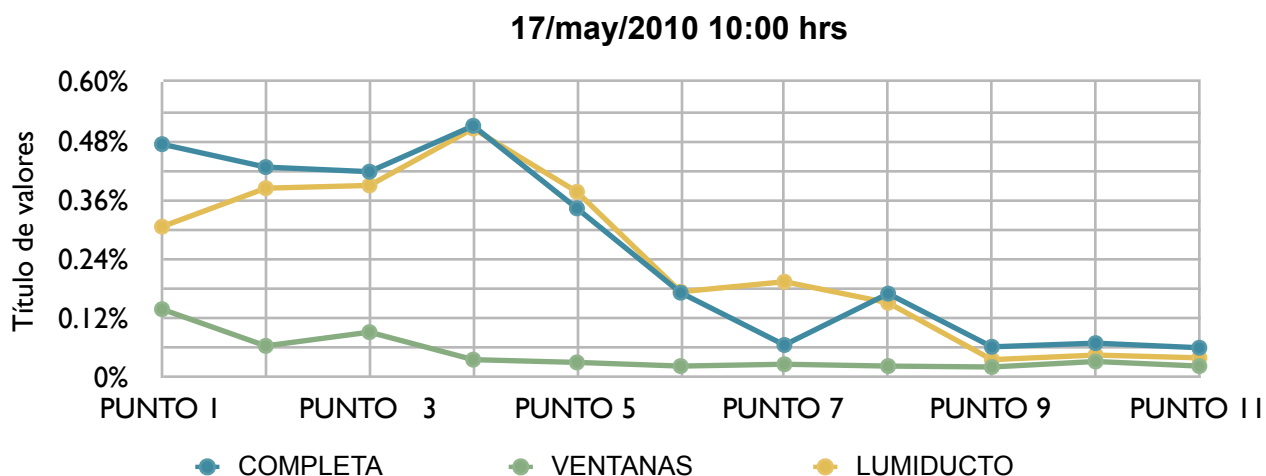


Gráfica 6.15.Fuente: Servicio Meteorológico Nacional, Normales Climatológicas, Estación Madin. Radiación Solar del 14 de abril del 2010,

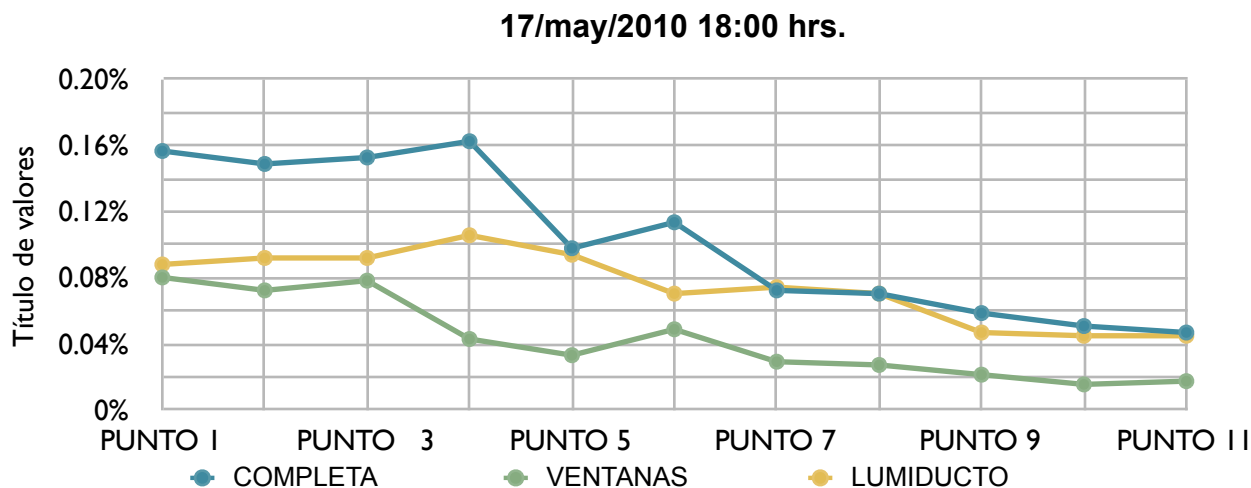


Gráfica 6.16.Fuente: Servicio Meteorológico Nacional, Normales Climatológicas, Estación Madin. Radiación Solar del 17 de mayo del 2010,

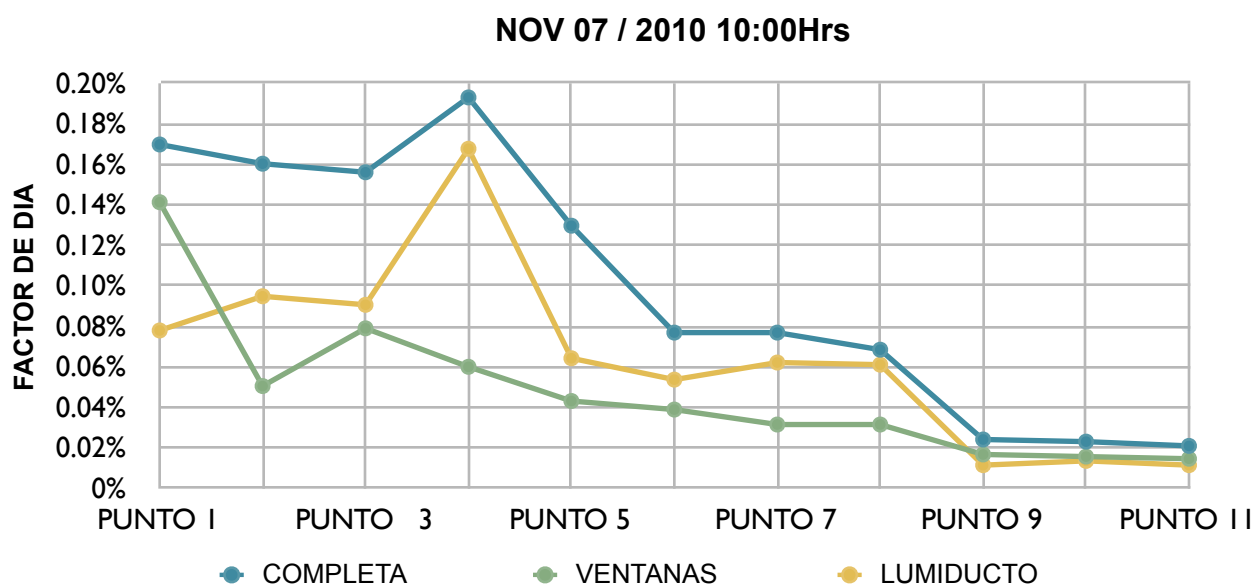
- El 17 de mayo las aportaciones lumínicas son casi en su totalidad provenientes del “Lumiducto”, en la gráfica 6.15 se puede apreciar como el aporte de las ventanas es casi nulo, en comparación con lo que el domo vertical aporta.
- Los valores del “Lumiducto” y los de ventanas más “Lumiducto” van prácticamente paralelos.
- En las gráficas de las 14:00 horas se repiten los valores del “Lumiducto” y el de ventanas más “Lumiducto” de ir paralelos; teniendo nuevamente la mayor aportación del domo vertical; a las 18:00 horas del 17 de Mayo del 2010, todos los niveles bajan y corren paralelos, ya el aporte de luz es casi nulo, también coincide con la puesta del sol.



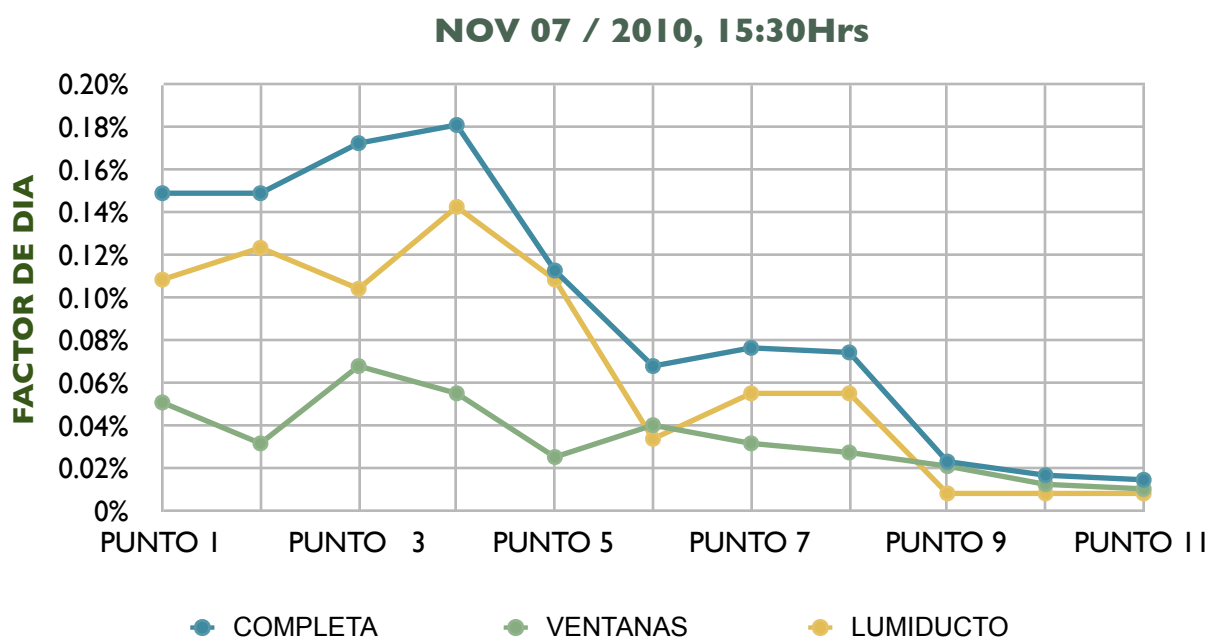
Gráfica 6.17. Fuente: Servicio Meteorológico Nacional, Normales Climatológicas, Estación Madin. Radiación Solar del 17 de mayo del 2010,



Gráfica 6.18. Fuente: Servicio Meteorológico Nacional, Normales Climatológicas, Estación Madin. Radiación Solar del 17 de mayo del 2010,



Gráfica 6.19. Fuente: Servicio Meteorológico Nacional, Normales Climatológicas, Estación Madin. Radiación Solar del 17 de mayo del 2010,



Gráfica 6.20. Fuente: Servicio Meteorológico Nacional, Normales Climatológicas, Estación Madin. Radiación Solar del 17 de mayo del 2010,

El 7 de noviembre las mediciones corren con menos aportación de luz

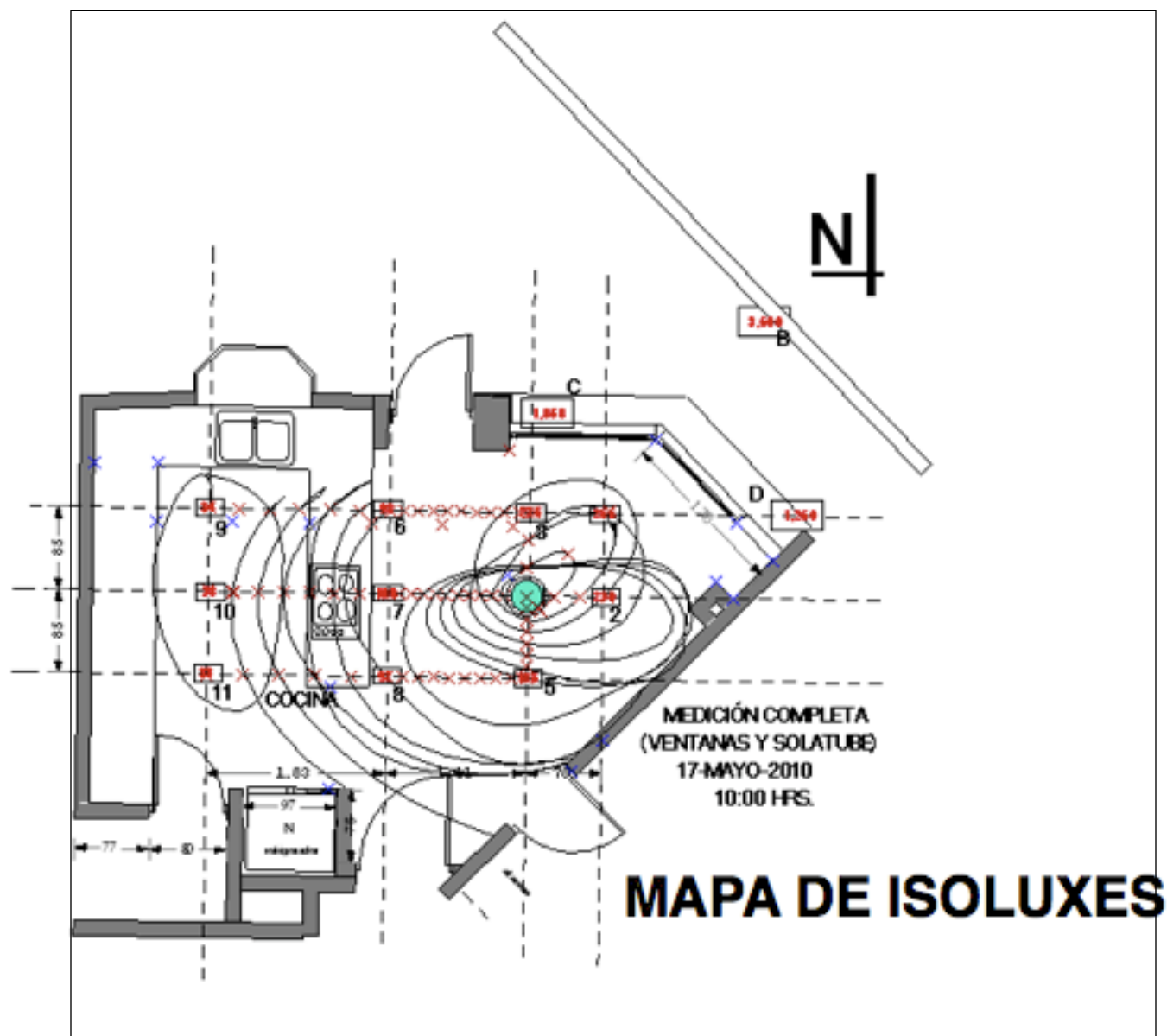


FIG. 6.16 Mapa de isoluxes, valores obtenidos.

La luz natural provista por los lumiductos verticales de interior espejado, con un difusor en su boca de entrada al ambiente genera una buena distribución de la iluminación, como lo podemos apreciar por los datos obtenidos. Esto hace que los ductos verticales sean un buen complemento para evitar los fuertes contrastes que provoca la iluminación unilateral provista por las ventanas verticales, provocando en los ocupantes que, aún teniendo valores altos de iluminación, se enciendan las luces artificiales para mejorar la uniformidad de luz.

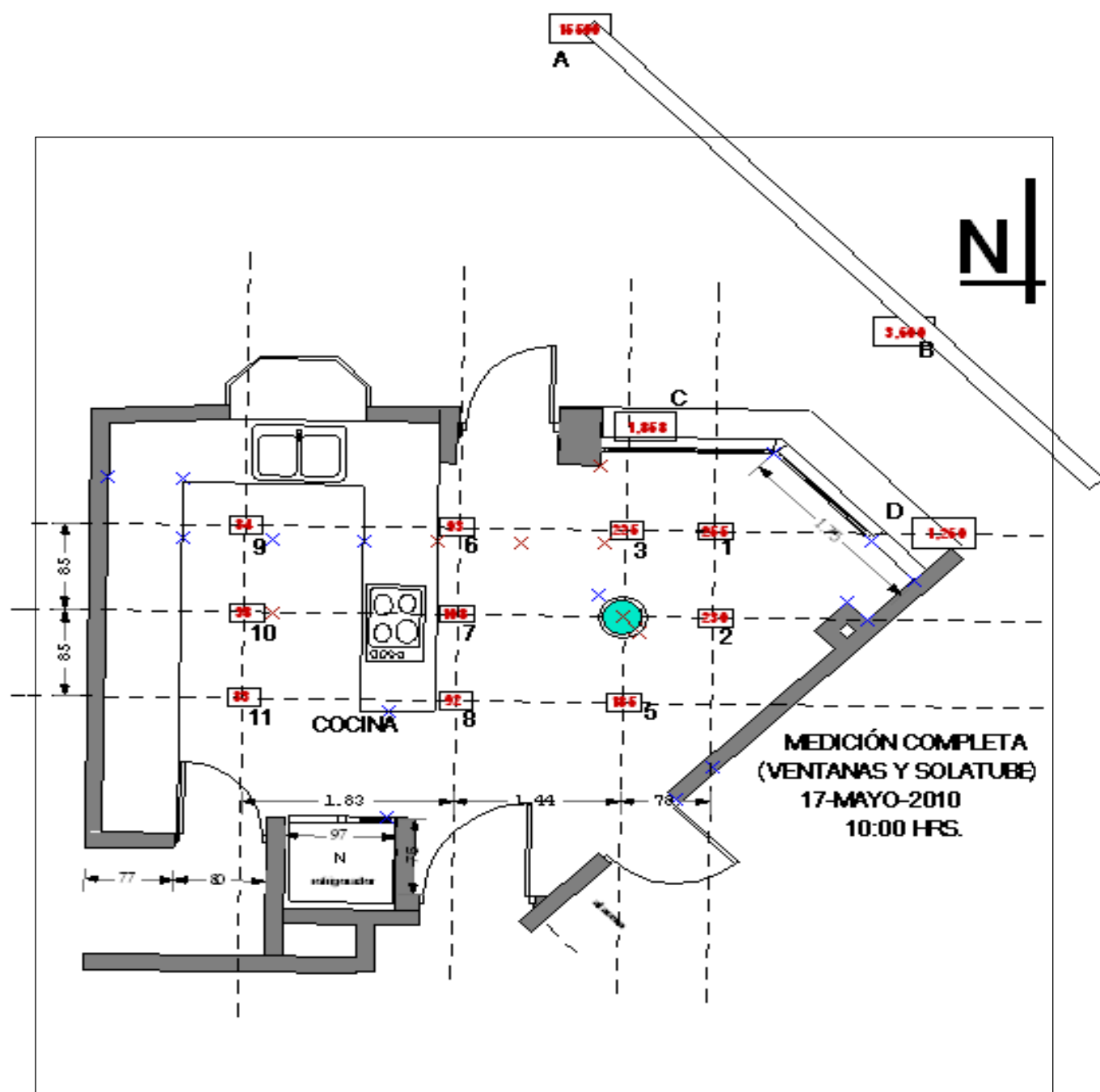


Fig. 6.17. Valores obtenidos el 17 de mayo del 2010 a las 10:00hrs. en cada punto del modelo.

6.4. CONCLUSIONES.

- El rendimiento lumínico del “Lumiducto Solatube” tiene muchas variables, como una solución pasiva, depende de los cambios climatológicos en relación con la insolación, los días nublados, medio nublados o despejados; como la parte del lumiducto que llega al local es un elemento emisor de la luz, los acabados con los que cuenten los locales harán la diferencia en la cantidad de iluminación que se pueda tener, por el índice de reflectancia que éstos posean.
- El modelo de “Solatube” estudiado, es el más sencillo y no tiene aditamentos añadidos para captar más luz.
- Este modelo es el usado para locales como cocinas y baños, es una solución para áreas generales.
- La geometría del local complica la distribución de la luz natural por lo que se recomienda la utilización de un segundo “Lumiducto” .
- El “Solatube” no provoca ganancias térmicas.⁴²
- Con el análisis anterior, a partir de la instalación del “Solatube” la mayor parte de los días del año y de las horas diurnas ya no ha sido necesario encender la luz artificial y perceptualmente el ambiente que se siente es mucho más agradable.

⁴² Solatube, The Miracle Skylight, 2004. Issued May 2004. Certificación de Energy Star y NFRC en EUA.

CAPITULO 7

CONCLUSIONES

Dotar de iluminación natural a todos los espacios interiores no siempre es posible con estrategias tradicionales (ventanas laterales). La incorporación de estrategias innovativas de iluminación natural, como los lumiductos, son una alternativa válida y depende en gran medida de la disponibilidad económica de los usuarios y el conocimiento de sus ventajas. Es por ello que el estudio de la eficiencia de los lumiductos dará la posibilidad de iluminar naturalmente locales que habían quedado iluminados sólo artificialmente. Los resultados obtenidos entre 130 y 300 luxes en distintas fechas del año, nos habla de un rendimiento adecuado para iluminar. La investigación tecnológica desarrollada en estos nuevos sistemas, va a permitir el uso de espacios hasta ahora olvidados o nuevas propuestas en obras nuevas.

La luz es un recurso natural que podemos aprovechar y debemos utilizar en las propuestas de diseño. La mayor parte de la actividad humana se da en horas diurnas, con éste hecho, la iluminación natural constituye un recurso sustentable e imprescindible para iluminar los espacios interiores en los edificios. El aprovechamiento de la luz solar ofrece una real oportunidad para el ahorro de energía eléctrica, con los consiguientes beneficios ambientales que ello otorga, en espacios creados para el bienestar, en el marco de un desarrollo y utilización responsable de los recursos naturales de los que aún hoy disponemos.

Haciendo un análisis del panorama energético en el que estamos inmersos actualmente, nos lleva a una importante conclusión: el alto costo de las facturas de consumos en términos de energía eléctrica, en los edificios se debe más al gasto en iluminación, que el costo en otros usos. Lo que nos hace pensar que se tendrán que hacer cambios y concentrarse en mejores soluciones sobre la pobre transmisión de luz en las fachadas de los edificios o el poco aprovechamiento de éstas en partes interiores. Desde éste punto de vista se puede ver claramente que estrategias apropiadas de diseño en iluminación natural pueden hacer una baja considerable en las facturas por consumo de energía eléctrica y se hará un uso más racional y eficiente de las energías no renovables.

Prácticamente todo lo que consumimos proviene de la energía denominada primaria, que es aquella que engloba al carbón, el petróleo y el gas natural. Se trata de energías no renovables, y este predominio de los combustibles fósiles es cada más insostenible porque llegará un día en que este tipo de sustancias desaparezcan. Sin embargo no son las únicas energías existentes, y cada vez más se desarrolla el uso de otras energías como la energía eólica, la energía solar o la – mal vista – energía nuclear. Aunque el problema principal radica en que el costo inicial para captarlas es más elevado que las fuentes tradicionales.

Para el aprovechamiento de la luz natural en edificios y sus partes constituyentes, es necesario comprender los principios de iluminación natural, para integrarlos adecuadamente desde el inicio del proceso de diseño. Esta comprensión comienza con el conocimiento adecuado del sol y sus radiaciones

luminosas para la obtención de clasificaciones características para las distintas regiones, pues los trabajos de normas y recomendaciones sobre aprovechamiento de luz natural derivan del conocimiento que tienen los países que poseen datos y modelos verificados.

La luz natural ejerce una gran influencia no solo sobre el balance energético de los edificios, sino también sobre la propia actividad humana. Darle la importancia que se merece llevará a dar mejores soluciones, para aprovechar al máximo la iluminación natural en los edificios. El diseño y análisis de la iluminación natural pretende promover el uso de la misma en los edificios y conseguir una mayor calidad de luz natural a lo largo del día, logrando un mejor aspecto lumínico interior. Actúa como modificadora del confort, entendiendo por confort, al nivel de habitabilidad básico y necesario para el desempeño de las diversas actividades. El confort visual en el ámbito de trabajo/aprendizaje contribuye a una sensación de bienestar general, y por tanto, permite lograr mayor rendimiento.

La luz natural incide en los edificios en forma de luz solar directa y luz difusa desde y a través de las aberturas; luz reflejada en el exterior por el suelo y/o los paramentos de los otros edificios y luz reflejada interiormente por paredes, plafones y otras superficies dentro del local.

Basándose en las condiciones luminosas de cualquier localización geográfica, bajo diferentes estados climáticos (día soleado, nublado, etc.), se podrán conseguir soluciones con el verdadero potencial de la luz natural en el interior de los edificios. Con la obtención de la información necesaria se podrá proyectar de forma eficiente los elementos de iluminación natural en la etapa de diseño. Es fundamental, el conocimiento tanto de la cantidad como de la duración y características de la luz natural, en especial en México, ya que nos encontramos dentro del cinturón solar, pero el amplio territorio y sus distintas características geográficas nos darán diferentes soluciones de iluminación.

La definición geométrica de un edificio (muros exteriores, interiores, cubiertas planas o inclinadas, aleros), de los vanos (puertas, ventanas de fachada, ventanas de cubierta), así como de los acabados interiores y del mobiliario, influyen directamente en eficacia lumínica de las soluciones de diseño. Rara vez se analiza la forma cualitativa de la luz natural en la arquitectura, es de gran importancia visualizar las estrategias de diseño, que sean sencillas de utilizar; que faciliten y permitan un diseño eficiente de la luz natural en el interior para lograr los resultados que se persiguen.

Existe un abanico bastante amplio de soluciones para utilizar, controlar y guiar la luz natural. La presentación y clasificación de los principales sistemas de iluminación natural con la detección de las compañías más significativas en el estudio y desarrollo de estas nuevas tecnologías, dan una oportunidad de selección de la opción más adecuada para la solución de integrar la luz natural a los espacios. Esta presentación incluye varias propuestas de iluminar naturalmente espacios profundos o

con obstrucciones; y de éstas propuestas, la que dió motivo a esta investigación son las Guías de Luz “Lumiductos”.

Las guías de la luz tubular representan una nueva forma de iluminar los espacios internos de los edificios. La investigación de la eficacia de los domos tubulares y el ahorro de energía eléctrica se llevó a cabo. a partir de las mediciones de la entrada del flujo luminoso tomando en cuenta solo el “Lumiducto,” en segundo lugar sólo las ventanas y por último una medida de como actúan los dos

El mayor efecto de suministro de luz se produce durante el período de verano de acuerdo al ángulo solar. Durante los días claros la distribución de iluminancia en el plano de trabajo puede cambiar en función de la posición de los rayos del sol. Los mayores niveles de iluminación se pueden esperar bajo el difusor, ése es el lugar con la más alta iluminancia. La eficacia del “Lumiducto se puede determinar a partir de la iluminancia del difusor de techo y la iluminancia del cielo. La eficacia de la luz captada por el domo tubular depende de las dimensiones y las propiedades ópticas con las que cuente.

El uso eficiente de los “Lumiductos” en los edificios depende de varios factores. Propiedades ópticas como una alta transmitancia del domo en el techo así como el emisor en el plafón, como la reflectancia de la superficie de los materiales del espacio a iluminar, De igual manera el área a iluminar definirá el tamaño y el tipo de sistema a utilizar.

Los resultados de las mediciones de iluminancia indican que esta tecnología puede ser considerada como una alternativa de sistema de luz de día en las partes profundas de las habitaciones. o puede sustituir el uso de luz artificial en los espacios sin ventanas. Sobre todo los espacios sin requerimientos de altos niveles de iluminación para tareas específicas; en lugares de utilización de luz general como corredores, vestíbulos, tiendas o espacios públicos con necesidades de luz natural son una muy buena opción.

La ventaja de utilizar los domos tubulares, es el ahorro de energía y la reducción de la factura al utilizar este sistema alternativo y algunas veces complementario de la luz artificial. Aplicaciones más amplias de los “Lumiductos” en edificios traerán como consecuencia un impacto positivo al medio ambiente al reducir las emisiones de bióxido de carbono. Por otro lado, la recuperación del costo de inversión es en poco tiempo (2 años) que comparado con los beneficios es altamente recomendable.

La mayor contribución de los domos tubulares, es en el mejoramiento del confort visual en los edificios y la posibilidad de utilizar luz natural con todos los cambios dinámicos que ella implica, en las partes internas de los edificios. Hasta ahora el funcionamiento ha sido medido por la cantidad de luz que un dispositivo de domo tubular puede proveer. Se intenta utilizar sistemas nuevos y alternos de captar la luz de día con nuevas dimensiones y funcionamiento que sean acordes a una solución de diseño

arquitectónico sostenible (consistencia de la iluminación y eficiencia energética) derribando así brechas tecnológicas.

Los Domos Tubulares, son una revolución de las investigaciones de ingenieros físicos y diseñadores industriales, que equilibra los espacios al tener una iluminación difusa dentro de ellos. y permite altos niveles de iluminancia homogénea. Posee una buena eficacia luminosa. Está disponible en una gran cantidad de horas, lo que implica un potencial ahorro de energía eléctrica y consecuentemente, un ahorro económico y de recursos naturales.

Un gran problema a considerar y por lo tanto puede resultar de gran eficiencia su uso, es que en las zonas urbanas los anchos reducidos de los lotes no permiten flexibilidad en la orientación de los edificios, a lo que se le suma altas densidades y gran altura, que resulta en el insuficiente asoleamiento.

•

Este sistema responde con eficiencia a la luz natural difusa; pero su mayor rendimiento se da en climas soleados en donde la incidencia de los rayos solares potencian los niveles de iluminación interior, esto dió como resultado de analizar las medidas obtenidas en días soleados o en días nublados; en los días soleados los resultados siempre fueron más altos; aunque si la oscilación en los niveles lumínicos fué muy alta si había nubes. Se observa que existe una falta de aprovechamiento de la iluminación natural, siendo los sistemas artificiales, la principal fuente de iluminación de los locales. La utilización de luz natural apunta a optimizar las condiciones de habitabilidad con el menor consumo de los recursos, ya sean energéticos o económicos, mejorando la calidad de vida de los habitantes.

La mayor parte del año y la mayor parte de las horas del día se cuenta con ella aún en lugares en los que sólo se podía iluminar con luz artificial. Aunque si podemos apreciar un decremento considerable en los días nublados. También se aprecian interiormente los cambios de luz natural del exterior cuántas veces ésta cambie.

Como arquitectos tenemos gran responsabilidad ya que se deben producir edificios eficientes, que permitan el óptimo desarrollo de las diversas actividades, con el mínimo consumo energético, no mediante soluciones técnicas adicionales, sino partiendo del enfoque bioambiental, que abarca todas las etapas proyectuales, así como todas las escalas del diseño.

BIBLIOGRAFIA

- (1).- Australian Commercial Building Sector
- (2).- Baker, N., Franchiotti, A., Steemers, K., (1993) Daylighting en Architecture. James & James Science Publishing, Brussels,, pp.2.11-2.15
- (3).- Bracale, G., Mingozi, A., Bottiglioni, S., (2001) Performances and Daylighting applications of Solatube. The Tubular Skylight . Proc. Conf. Lux Europa, 2001, Reykjavik, pp. 360-384.
- (4).- Carter, D:J:,(2002) The measured and predicted performance of passive solar pipe systems. Lighting Research and Technology, vol. 34, no.1, pp.39-52
- (5).- Dumortier D., (1997). "Evaluation of luminous efficacy models according to sky types and atmospheric conditions". Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat, Vaulx-enVelin, France. Proc. Lux Europa '97, Amsterdam.
- (6).- Edwards, L., Torcellini, P., (2002), A Literature Review of the effects of Natural Lighting on Building Occupants, NREL
- (7).- Figueroa A, Arq., et al., (1989), Criterios de Adecuación Bioclimática en la Arquitectura. Instituto Mexicano del Seguro Social.
- (8).- Fontoynt, M., (1998). *Daylight Performance of Buildings*, James and James, UK.
- (9).- Fuentes Freixenet, V, 2007, Estudios de Arquitectura Bioclimática, Anuario 2007, Vol.IX, Ed. Limusa, Universidad Autónoma, Metropolitana.

- (10).- García, E. (1981) Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Koppen, Talleres Larios, S:A., México.
- (11).- García, E. (1986), Apuntes de Climatología, Talleres Larios, México.
- (12).- García Chavez, José Roberto, 1994, Diseño Bioclimático, Para ahorro de Energía y Confort Ambiental Integral.
- (13).- Gonzalo G.E. et al., (1998). Manual de Arquitectura Bioclimática, Capitulo 10, ISBN 950-43-9028-5. Tucumán, Argentina.
- (13).- Green Building Council, www.usgbc.org
- (14).- Greenhouse Gas Emissions (1990–2010,) Australian Green House Office
- (15).- Hernández Sampieri, R. Fernández, C. Baptista, P, (1994), Metodología de la Investigación, Mc Graw Hill,Mex. D.F.
- (16).- Heschong Mahone Group (1999) “Skylighting and Retail Sales”,
- (17).- Jodidio, P., 2009, Green Architecture Now., , Taschen GMBH, Cologne, Deutschland.
- (18).- Journal of Property Management, (January 2000)
- (19).- Letelier, Sofía. (2007) Lectura e Ideación de la escala y “escalaje” en arquitectura. Tesis doctoral UPM, Madrid,

- (20).- Medina, Valeria. (2008)El fenómeno de ponderar tamaños y distanciamientos. Rol en las habilidades lógicas de situar, clasificar y seriar. Seminario de percepción y significación, F:A:U: de Chile
- (21).- Moore, F., (1985). *Concepts and Practice of Architectural Daylighting*, Van Nostrand Reinhold Company, NY
- (22).- Pattini, A., J. Mitchell, C. de Rosa, (1994). “Determinación y Distribución de Luminancias de Cielos para diseños con iluminación natural”. Actas de la 17 Reunión de ASADES Tomo 11, pp. 521-527.
- (23).- Pattini, A.,(2000). “Recomendaciones de niveles de iluminación en edificios no residenciales. Una comparación internacional”. Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 4, Nº I, 05.07-05.13.
- (24).- Pattini, A, Fuentes G., et al, (1998). Luz Natural e Iluminación de Interiores., Manual de Arquitectura Bioclimática, Capítulo 10, ISBN 950-43 .
- (25).- Plummer, Henry, 2009, The Architecture of Natural Light, The Monacelli Press, a Division of Random House, Inc., New York.
- (26).- Puppo, E., Puppo G.A.,(1979) Acondicionamiento Natural y Arquitectura, 2 Elementos del clima y del microclima. Ed. Marcombo, Barcelona, España.
- (27).- Robbins, C.,(1986). Daylighting, Design and Analysis, Van Nostrand Reinhold Co. NY
- (28).- Rodríguez Viqueira, et al., 2004, Introducción a la Arquitectura Bioclimática, Editorial Limusa, Universidad Autónoma Metropolitana.

- (29).- Rosa Urbano Gutiérrez. (2008) Database of Light-Interacting Materials, Systems and Technologies. Master Thesis in Designs Studies, Harvard University,
- (30).- Szokolay, S. V., 1980, Introduction to Architectural Science, The basis of sustainable design, The Construction Press, Lancaster, England.
- (31).- Tregenza, P. R., (1987). "The CIE/WMO international daylighting measurement programme". CIE journal, Vol.6, No.2
- (32).- US Dept. of Energy, Energy Information Administration/Annual Energy Review (2009.) Energy Consumption by Sector Overview. EIA <http://www.eia.doe.gov/ar/pdf/aer.pdf>
- (33).- Wines, J., 2008, Green Architecture, Taschen GMBH, Cologne, Deutschland.
Zajonc,, A., (1993) Catching the Light, The Entwined History of Light and Mind,

REFERENCIAS DE INTERNET

- (1).-Anuario de Energía Internacional 2005, <http://www.anes.org/anes/index.php?>
- (2).- ASADES: Asociación Argentina de Energías Renovables.
[ASADES - Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente](#)
- (3).-Balance Nacional de Energía 2009, <http://www.sener.gob.mx/portal/Default.aspx?id=1791>
- (4).-Centro de Estudios Históricos Arquitectónicos y Urbanos - CEHAU Facultad de Arquitectura y Urbanismo – UNNE Av. Las Heras 727 – (3500) Resistencia – Chaco – Argentina E-mail: annalancelle@yahoo.com.ar
- (5).-EL DISEÑO INDUSTRIAL Y LAS ESTRATEGIAS DE INNOVACIÓN TECNOLÓGICA
Galán, Beatriz; Garbarini, Roxana; Vazquez, Antonio; Delucchi, Dolores; Conalbi, Pedro; Bramanti, Agustín Taller de Diseño Industrial III- Cátedra Galán. Centro CAO – FADU- UBA. Tecnología en relación Proyectual roxanagarbarini@hotmail.com / dolores@bomplural.com.ar
- (6).- Emplea Verde, 2010http://www.redesma.org/boletin/bol_2010/emplea_verde_4/07_Proyectista_Ambiental.pdf
- (7).- Revista Digital Universitaria 10 de julio 2007 • Volumen 8 Número 7 • ISSN: 1067-6079 EL DESARROLLO DE LA ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA EN LA UNIVERSIDAD DE ALCALÁ
Fernando da Casa Martín Grupo Investigación: “Intervención en el Patrimonio y Arquitectura Sostenible” Universidad de Alcalá. http://www.revista.unam.mx/vol.8/num7/art55/jul_art55.pdf
- (8).-Secretaría de Energía, Gobierno Federal, México,SENER (2010, Prospectivas del Sector Eléctrico 2009-2024, <http://www.energia.gob.mx> Secretaría de Energía
- (9).-Solatube International R, 2010.<http://www.solatube.com/es/productcatalog.htm>
- (10).- Solatube International R.<http://www.conae.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/4289/2/carlosalatorre.pdf>
- (11).-Vida sana, la luz solar relacionada con la salud. [La luz solar como aliada de la salud: La influencia que ejerce el sol en el estado físico y mental](#)

ANEXO 1

MEDICIONES

PROYECTO:

SISTEMAS DE TRANSPORTE DE LUZ NATURAL : LUMIDUCTOS

EVALUACION DE SU EFICIENCIA LUMINICA

CONDICIONES CLIMATICAS PARCIALMENTE NUBLADO							9/ABRIL/2010
Temp. Max	26°C	HR. SALIDA SOL	7:20	PROBABILIDAD PRECIP.	40%	PRESION	10,020.32mb
Temp. Min.	11°C	HR. PUESTA SOL	19:54	VIENTO	SUR A 19KM/HR	VISIBILIDAD	16.1Km
Indice UV	11			HUMEDAD	39%		

HORA CIVIL:	9:00 AM								NUBLADO		
HORA SOLAR:	9:38 AM										
MEDICION LUXES	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4	PUNTO 5	PUNTO 6	PUNTO 7	PUNTO 8	PUNTO 9	PUNTO 10	PUNTO 11
COMPLETA	114	62	77	83	53	34	27	29	13	11	9
VENTANAS	78	37	56	48	18	20	14	10	16	9	8
LUMIDUCTO	75	111	117	166	87	46	59	42	10	11	9
LUMIDUCTO + VENTANAS	153	148	172	214	105	65	73	52	26	20	17

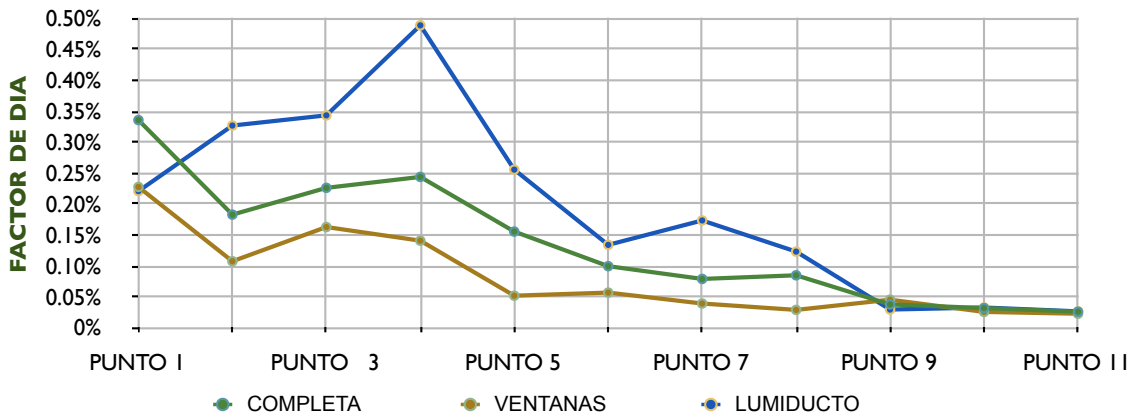
TOMAS EN EXTERIOR									
AZOTEA	34,000	PUNTO A	17,800	PUNTO B	26,900	PUNTO C	9,580	PUNTO D	16,580

FACTOR DE DIA

MEDICION LUXES	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4	PUNTO 5	PUNTO 6	PUNTO 7	PUNTO 8	PUNTO 9	PUNTO 10	PUNTO 11
COMPLETA	0.34%	0.18%	0.23%	0.24%	0.16%	0.10%	0.08%	0.09%	0.04%	0.03%	0.03%
VENTANAS	0.23%	0.11%	0.16%	0.14%	0.05%	0.06%	0.04%	0.03%	0.05%	0.03%	0.02%
LUMIDUCTO	0.22%	0.33%	0.34%	0.49%	0.26%	0.13%	0.17%	0.12%	0.03%	0.03%	0.03%

Nota: las ventanas se cubrieron en blanco al tomar las mediciones del lumiducto.

ABRIL 9/2010-9:00HRS



PROYECTO:
SISTEMAS DE TRANSPORTE DE LUZ NATURAL : LUMIDUCTOS
EVALUACION DE SU EFICIENCIA LUMINICA
CONDICIONES CLIMATICAS PARCIALMENTE NUBLADO

HORA CIVIL: 14:00Hrs
HORA SOLAR 14:38hrs

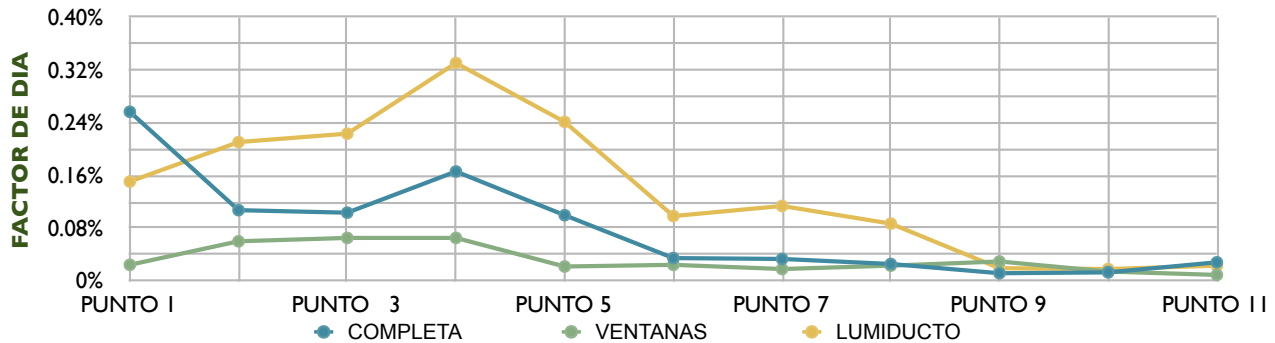
9/ABRIL/2010							
Temp. Max	26°C	HR. SALIDA SOL	7:20	PROBABILIDAD PRECIP.	40%	PRESION	10,020.32mb
Temp. Min.	11°C	HR. PUESTA SOL	19:54	VIENTO	SUR A 19KM/HR	VISIBILIDAD	16.1Km
Indice UV	11			HUMEDAD	39%		

									SOLEADO		
MEDICION LUXES	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4	PUNTO 5	PUNTO 6	PUNTO 7	PUNTO 8	PUNTO 9	PUNTO 10	PUNTO 11
COMPLETA	201	84	81	130	78	27	26	20	9	10	22
VENTANAS	19	47	51	51	17	19	14	18	23	11	7
LUMIDUCTO	118	165	175	259	189	77	89	68	15	14	18
LUMIDUCTO + VENTANAS	137	212	226	310	206	96	103	86	38	25	25

TOMAS EN EXTERIOR								FACTOR DE DIA			
AZOTEA	78,300	PUNTO A	54,000	PUNTO B	73,500	PUNTO C	19450,	PUNTO D	5,600		
MEDICION LUXES	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4	PUNTO 5	PUNTO 6	PUNTO 7	PUNTO 8	PUNTO 9	PUNTO 10	PUNTO 11
COMPLETA	0.26%	0.11%	0.10%	0.17%	0.10%	0.03%	0.03%	0.03%	0.01%	0.01%	0.03%
VENTANAS	0.02%	0.06%	0.07%	0.07%	0.02%	0.02%	0.02%	0.02%	0.03%	0.01%	0.01%
LUMIDUCTO	0.15%	0.21%	0.22%	0.33%	0.24%	0.10%	0.11%	0.09%	0.02%	0.02%	0.02%

Nota: las ventanas se cubrieron en blanco al tomar las mediciones del lumiducto.

ABRIL 09 / 14:00 Hrs.



PROYECTO:
SISTEMAS DE TRANSPORTE DE LUZ NATURAL : LUMIDUCTOS
EVALUACION DE SU EFICIENCIA LUMINICA

9/ABRIL/2010							
Temp. Max	26°C	HR. SALIDA SOL	7:20	PROBABILIDAD PRECIP.	40%	PRESION	10,020.32mb
Temp. Min.	11°C	HR. PUESTA SOL	19:54	VIENTO	SUR A 19KM/HR	VISIBILIDAD	16.1Km
Indice UV	11			HUMEDAD	39%		

CONDICIONES CLIMATICAS PARCIALMENTE NUBLADO										LLUVIA	
MEDICION LUXES	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4	PUNTO 5	PUNTO 6	PUNTO 7	PUNTO 8	PUNTO 9	PUNTO 10	PUNTO 11
COMPLETA	119	75	63	75	35	43	27	19	11	7	6
VENTANAS	52	31	40	24	19	14	10	8	10	7	6
LUMIDUCTO	73	47	38	61	37	17	25	19	17	9	9
LUMIDUCTO + VENTANAS	125	78	78	85	56	31	35	27	27	16	15

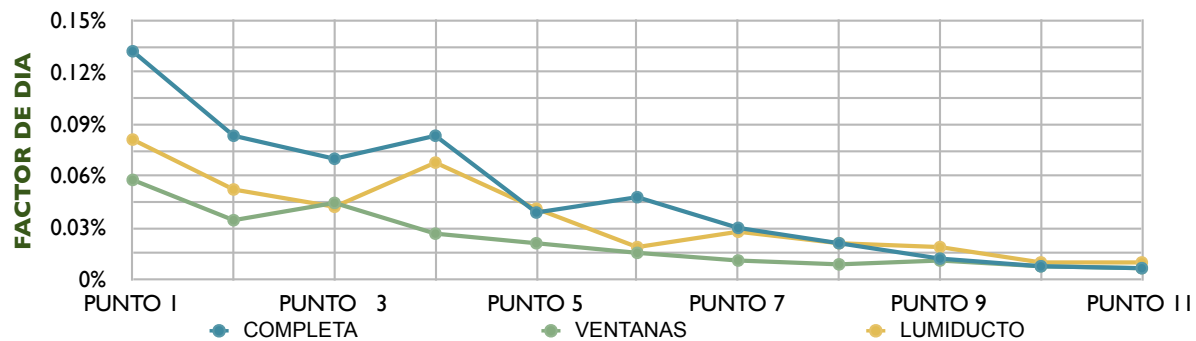
TOMAS EN EXTERIOR											
AZOTEA	89,990	PUNTO A	33,400	PUNTO B	9,500	PUNTO C	8,600	PUNTO D	29,700		

FACTOR DE DIA

MEDICION LUXES	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4	PUNTO 5	PUNTO 6	PUNTO 7	PUNTO 8	PUNTO 9	PUNTO 10	PUNTO 11
COMPLETA	0.13%	0.08%	0.07%	0.08%	0.04%	0.05%	0.03%	0.02%	0.01%	0.01%	0.01%
VENTANAS	0.06%	0.03%	0.04%	0.03%	0.02%	0.02%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%
LUMIDUCTO	0.08%	0.05%	0.04%	0.07%	0.04%	0.02%	0.03%	0.02%	0.02%	0.01%	0.01%

Nota: las ventanas se cubrieron en blanco al tomar las mediciones del lumiducto.

ABRIL 09 / 16:00Hrs



PROYECTO:
SISTEMAS DE TRANSPORTE DE LUZ NATURAL :
EVALUACION DE SU EFICIENCIA LUMINICA

7/NOV/2010						
Temp. Max		HR. SALIDA SOL		PROBABILIDAD PRECIP.		PRESION
Temp. Min	CONDICIONES CLIMATICAS		PARCIALMENTE NUBLADO			VISIBILIDAD
Indice UV				HUMEDAD		

HORA CIVIL: 10:00 AM HORA SOLAR 10:38 AM				DESPEJADO							
MEDICION LUXES	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4	PUNTO 5	PUNTO 6	PUNTO 7	PUNTO 8	PUNTO 9	PUNTO 10	PUNTO 11
COMPLETA	161	152	148	183	123	73	73	65	23	22	20
VENTANAS	134	48	75	57	41	37	30	30	16	15	14
LUMIDUCTO	74	90	86	159	61	51	59	58	11	13	11
TOMAS EN EXTERIOR											
LUMIDUCTO + VENTANAS	208	138	161	216	102	88	89	88	27	28	25

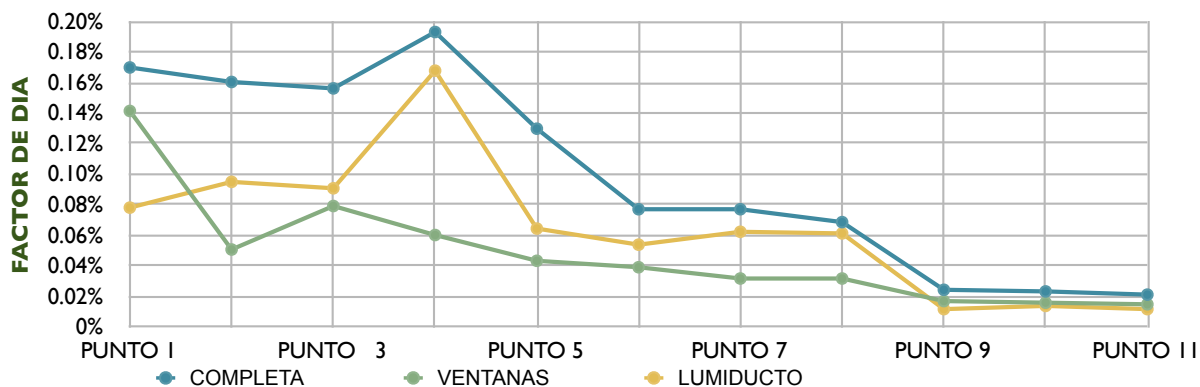
AZOTEA	94,800	PUNTO A	12,510	PUNTO B	10,520	PUNTO C	3,920	PUNTO D	7,430
--------	--------	---------	--------	---------	--------	---------	-------	---------	-------

FACTOR DE DIA

MEDICION LUXES	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4	PUNTO 5	PUNTO 6	PUNTO 7	PUNTO 8	PUNTO 9	PUNTO 10	PUNTO 11
COMPLETA	0.17%	0.16%	0.16%	0.19%	0.13%	0.08%	0.08%	0.07%	0.02%	0.02%	0.02%
VENTANAS	0.14%	0.05%	0.08%	0.06%	0.04%	0.04%	0.03%	0.03%	0.02%	0.02%	0.01%
LUMIDUCTO	0.08%	0.09%	0.09%	0.17%	0.06%	0.05%	0.06%	0.06%	0.01%	0.01%	0.01%

Nota: las ventanas se cubrieron en negro al tomar las mediciones del lumiducto.

NOV 07 / 2010 10:00Hrs



PROYECTO:
SISTEMAS DE TRANSPORTE DE LUZ NATURAL : LUMIDUCTOS
EVALUACION DE SU EFICIENCIA LUMINICA

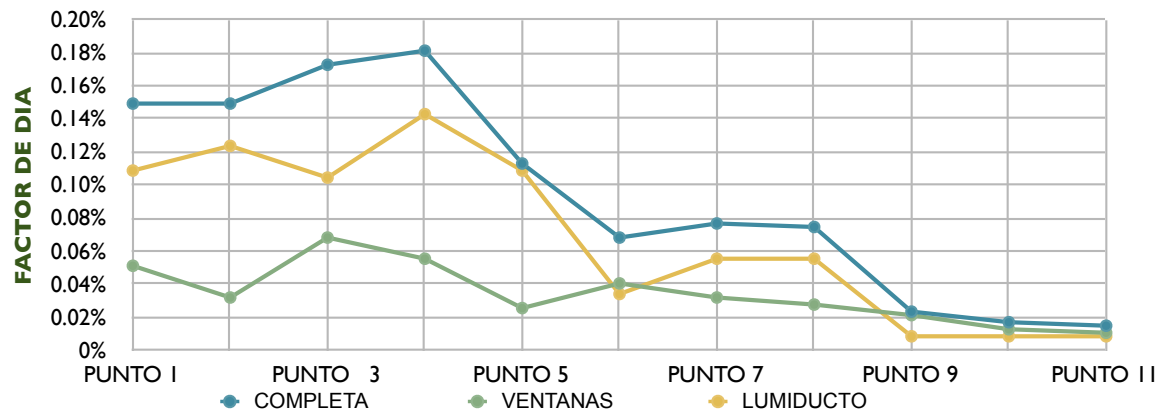
HORA CIVIL: 15:30Hrs
HORA SOLAR 16:08Hrs

CONDICIONES CLIMATICAS PARCIALMENTE NUBLADO

DESPEJADO 7/NOV./2010											
Temp. Max		HR. SALIDA SOL		PROBABILIDAD PRECIP.				PRESION			
Temp. Min.		HR. PUESTA SOL		VIENTO				VISIBILIDAD			
Indice UV				HUMEDAD							
MEDICION LUXES	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4	PUNTO 5	PUNTO 6	PUNTO 7	PUNTO 8	PUNTO 9	PUNTO 10	PUNTO 11
COMPLETA	70	70	81	85	53	32	36	35	11	8	7
VENTANAS	24	15	32	26	12	19	15	13	10	6	5
FACTORES DE CORRECCION											
AZOTEA	46,900	PUNTO A	13,800	PUNTO B	13,710	PUNTO C	3,000	PUNTO D	5,400		
LUMIDUCTO + VENTANAS	73	73	81	93	83	33	41	39	14	10	9
MEDICION LUXES	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4	PUNTO 5	PUNTO 6	PUNTO 7	PUNTO 8	PUNTO 9	PUNTO 10	PUNTO 11
COMPLETA	0.15%	0.15%	0.17%	0.18%	0.11%	0.07%	0.08%	0.07%	0.02%	0.02%	0.01%
VENTANAS	0.05%	0.03%	0.07%	0.06%	0.03%	0.04%	0.03%	0.03%	0.02%	0.01%	0.01%
LUMIDUCTO	0.11%	0.12%	0.10%	0.14%	0.11%	0.03%	0.06%	0.06%	0.01%	0.01%	0.01%

Nota: las ventanas se cubrieron en negro al tomar las mediciones del lumiducto.

NOV 07 / 2010, 15:30Hrs



PROYECTO:

SISTEMAS DE TRANSPORTE DE LUZ NATURAL : LUMIDUCTOS

EVALUACION DE SU EFICIENCIA LUMINICA

											17/MAY/2010
Temp. Max		HR. SALIDA SOL		PROBABILIDAD PRECIP.					PRESION		
Temp. Min.		HR. PUESTA SOL		VIENTO					VISIBILIDAD		
Indice UV				HUMEDAD							

HORA CIVIL: 14:00Hrs HORA SOLAR 14:38Hrs											
MEDICION LUXES	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4	PUNTO 5	PUNTO 6	PUNTO 7	PUNTO 8	PUNTO 9	PUNTO 10	PUNTO 11
COMPLETA	240	223	230	297	165	103	129	97	32	29	28
VENTANAS	75	47	51	27	23	32	19	17	13	11	12
LUMIDUCTO	180	217	225	295	187	99	106	80	22	23	20

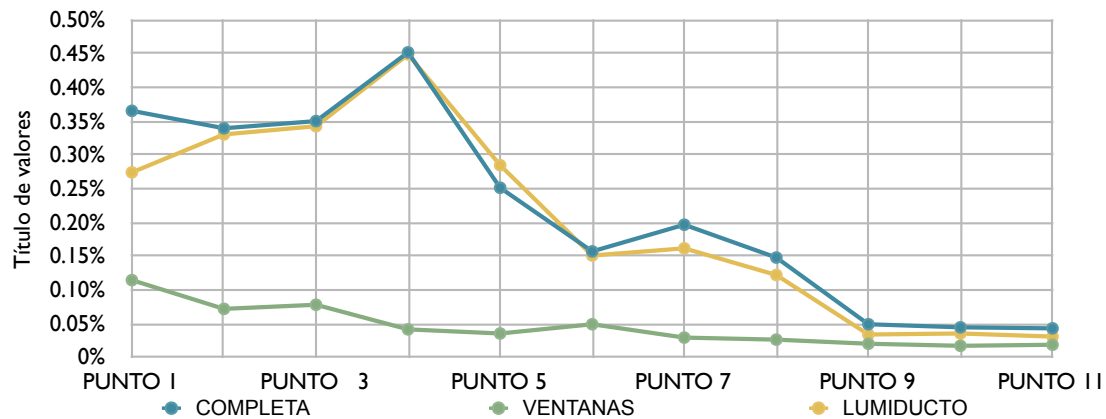
TOMAS EN EXTERIOR											
AZOTEA	65,700	PUNTO A	17,600	PUNTO B	38,000	PUNTO C	21,000	PUNTO D	13,400		

FACTOR DE DIA

MEDICION LUXES	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4	PUNTO 5	PUNTO 6	PUNTO 7	PUNTO 8	PUNTO 9	PUNTO 10	PUNTO 11
COMPLETA	0.37%	0.34%	0.35%	0.45%	0.25%	0.16%	0.20%	0.15%	0.05%	0.04%	0.04%
VENTANAS	0.11%	0.07%	0.08%	0.04%	0.04%	0.05%	0.03%	0.03%	0.02%	0.02%	0.02%
LUMIDUCTO	0.27%	0.33%	0.34%	0.45%	0.28%	0.15%	0.16%	0.12%	0.03%	0.04%	0.03%

Nota: las ventanas se cubrieron en blanco al tomar las mediciones del lumiducto.

17/may/2010 14:00hrs.



PROYECTO:
SISTEMAS DE TRANSPORTE DE LUZ NATURAL : LUMIDUCTOS
EVALUACION DE SU EFICIENCIA LUMINICA

							17/MAY/2010
Temp. Max	26°C	HR. SALIDA SOL	7:20	PROBABILIDAD PRECIP.	40%	PRESION	10.020.32mb
Temp. Min.	11°C	HR. PUESTA SOL	19:54	VIENTO	SUR A 19KM/HR	VISIBILIDAD	16.1Km
Indice UV	11			HUMEDAD	39%		

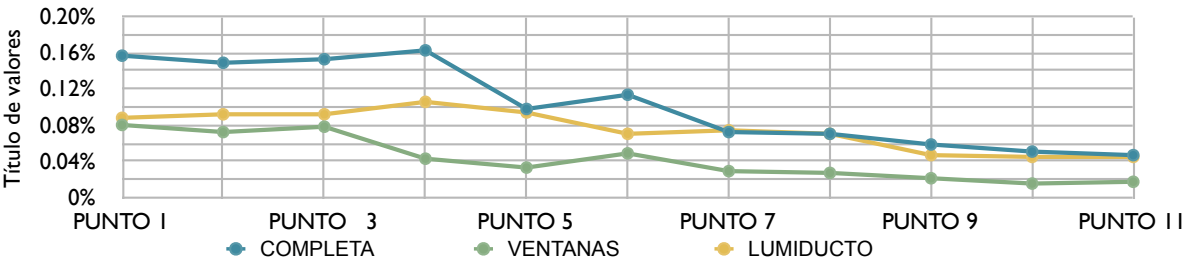
CONDICIONES CLIMATICAS PARCIALMENTE NUBLADO								LLUVIA			
MEDICION LUXES	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4	PUNTO 5	PUNTO 6	PUNTO 7	PUNTO 8	PUNTO 9	PUNTO 10	PUNTO 11
COMPLETA	80	76	78	83	50	58	37	36	30	26	24
VENTANAS	41	37	40	22	17	25	15	14	11	8	9
LUMIDUCTO	45	47	47	54	48	36	38	36	24	23	23
LUMIDUCTO + VENTANAS	86	84	87	76	65	61	53	50	35	31	32

TOMAS EN EXTERIOR								FACTOR DE DIA	
AZOTEA	51,000	PUNTO A	33,400	PUNTO B	87,500	PUNTO C	89,000	PUNTO D	27,000

MEDICION LUXES	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4	PUNTO 5	PUNTO 6	PUNTO 7	PUNTO 8	PUNTO 9	PUNTO 10	PUNTO 11
COMPLETA	0.16%	0.15%	0.15%	0.16%	0.10%	0.11%	0.07%	0.07%	0.06%	0.05%	0.05%
VENTANAS	0.08%	0.07%	0.08%	0.04%	0.03%	0.05%	0.03%	0.03%	0.02%	0.02%	0.02%
LUMIDUCTO	0.09%	0.09%	0.09%	0.11%	0.09%	0.07%	0.07%	0.07%	0.05%	0.05%	0.05%

Nota: las ventanas se cubrieron en blanco al tomar las mediciones del lumiducto.

17/may/2010 18:00 hrs.



PROYECTO:**SISTEMAS DE TRANSPORTE DE LUZ NATURAL : LUMIDUCTOS****EVALUACION DE SU EFICIENCIA LUMINICA**

17/MAY/2010						
Temp. Max		HR. SALIDA SOL		PROBABILIDAD PRECIP.		PRESION
Temp. Min.		HR. PUESTA SOL		VIENTO		VISIBILIDAD
Indice UV				HUMEDAD		

HORA CIVIL: 10:00Hrs**HORA SOLAR 10:38Hrs**

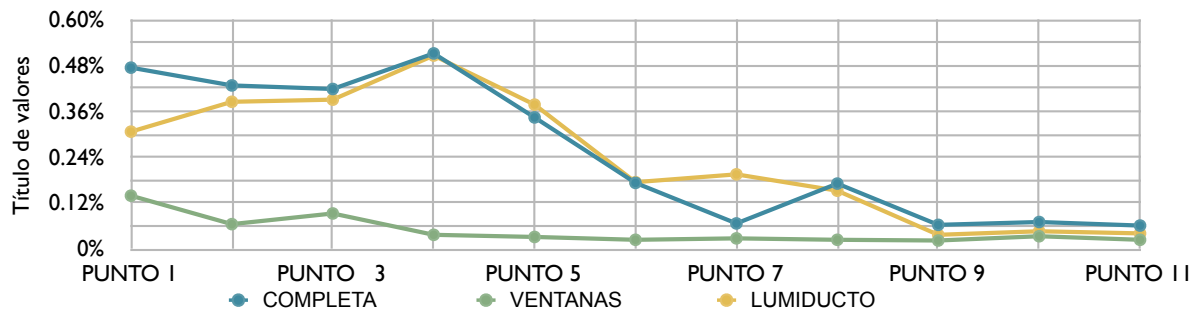
MEDICION LUXES	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4	PUNTO 5	PUNTO 6	PUNTO 7	PUNTO 8	PUNTO 9	PUNTO 10	PUNTO 11
COMPLETA	255	230	225	275	185	93	36	92	34	38	33
VENTANAS	75	35	50	20	17	13	15	13	12	18	13
LUMIDUCTO	165	207	210	272	203	94	105	82	20	25	22
LUMIDUCTO + VENTANAS	240	242	260	292	220	107	105	95	32	43	35

TOMAS EN EXTERIOR											
AZOTEA	53,800	PUNTO A	15,500	PUNTO B	36,000	PUNTO C	18,580	PUNTO D	12,600		

FACTOR DE DIA

MEDICION LUXES	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	PUNTO 4	PUNTO 5	PUNTO 6	PUNTO 7	PUNTO 8	PUNTO 9	PUNTO 10	PUNTO 11
COMPLETA	0.47%	0.43%	0.42%	0.51%	0.34%	0.17%	0.07%	0.17%	0.06%	0.07%	0.06%
VENTANAS	0.14%	0.07%	0.09%	0.04%	0.03%	0.02%	0.03%	0.02%	0.02%	0.03%	0.02%
LUMIDUCTO	0.31%	0.38%	0.39%	0.51%	0.38%	0.17%	0.20%	0.15%	0.04%	0.05%	0.04%

Nota: las ventanas se cubrieron en blanco al tomar las mediciones del lumiducto.

17/may/2010 10:00 hrs

21/ENERO/2010 ESTACION MADIN

FECHA	DIR. VIENTO	DIR. RAFAGA	RAP. VIENTO	RAP. RAFAGA	TEMP. AIRE	HUM- RELAT.	PRES. BARO M.	PRECIPI TACION	RAD. SOLAR
6:00am	205	249	1.8	3.3	0.4	100	767.2	0	0
7:00am	134	191	1.9	6.2	1.6	100	767.4	0	0
8:00am	195	196	2.9	7.4	5	100	768.2	0	132
9:00am	92	198	3.6	7.9	14.1	100	768.9	0	367
10:00am	78	103	7.5	14.3	17.1	100	769	0	574
11:00am	95	79	8.1	12	19	100	768.9	0	732
12:00pm	99	90	6.2	14.9	21.9	100	768.4	0	840
1:00pm	27	59	7.3	12	23.4	100	767.5	0	859
2:00pm	206	224	16.7	26.9	23.5	100	766.7	0	847
3:00pm	191	110	10.8	23.5	24.4	100	766.2	0	706
4:00pm	214	224	14.7	25.2	24.7	100	766.4	0	535
5:00pm	237	271	8.3	15.4	24.4	100	766.6	0	289
6:00pm	230	317	4.3	8.5	20.1	100	767.1	0	14
7:00pm	252	267	8.5	13.7	17.2	100	767.6	0	0
PROMEDIO	161.07	184.14	7.33	13.66	16.91	100.00	767.58	0.00	421.07

21/FEBRERO/2010 ESTACION MADIN

FECHA	DIR. VIENTO	DIR. RAFAGA	RAP. VIENTO	RAP. RAFAGA	TEMP. AIRE	HUM- RELAT.	PRES. BAROM	PRECIPI TACION	RAD. SOLAR
6:00am	214	273	4.6	9.7	8.5	100	767.7	0	0
7:00am	326	50	1.6	5.1	7.4	100	767.9	0	0
8:00am	43	32	2.7	6.8	9.1	100	768.1	0	67
9:00am	171	201	6.1	10.2	12.8	100	768.3	0	134
10:00am	138	83	3.5	7.4	13	100	768.4	0	224
11:00am	22	354	4.5	6.2	15.7	100	768.3	0	287
12:00pm	113	191	3.3	5.6	17.3	100	767.7	0	332
1:00pm	348	349	0	0	19	100	766.9	0	250
2:00pm	221	256	7.5	16	20.1	100	765.9	0	256
3:00pm	230	228	10.1	18.3	21.6	100	765.3	0	284
4:00pm	216	216	14.9	26.9	22.3	100	765.2	0	647
5:00pm	220	220	9.6	14.9	22.5	100	765.4	0	382
6:00pm	216	218	12.4	18.9	20.5	100	765.9	0	111
7:00pm	217	199	5.1	10.2	16.7	100	766.8	0	0
PROMEDIO	192.50	205.00	6.14	11.16	16.18	100.00	766.99	0.00	212.43

21/MARZO/2010 ESTACION MADIN

FECHA	DIR. VIENTO	DIR. RAFAGA	RAP. VIENTO	RAP. RAFAGA	TEMP. AIRE	HUM- RELAT.	PRES. BARO M	PRECIPI TACION	RAD. SOLAR
6:00am	17	24	3.1	7.9	4.6	100	769.5	0	0
7:00am	53	11	0	0	3.9	100	769.7	0	14
8:00am	61	61	2	4.5	9.7	100	770.1	0	255
9:00am	49	41	5.4	8.5	15.1	100	770.3	0	511
10:00am	41	38	8	14.3	16.8	100	770.2	0	718
11:00am	142	98	7.6	15.4	19.2	100	769.6	0	882
12:00pm	79	74	9.5	16	21.3	100	769	0	960
1:00pm	181	187	5.9	14.3	23	100	767.9	0	1029
2:00pm	220	199	13	20	23.8	100	767.1	0	895
3:00pm	216	243	13.9	29.8	24.8	100	766.7	0	744
4:00pm	229	199	16	31	24	100	766.4	0	526
5:00pm	240	247	13.8	22.3	24.6	100	766.4	0	394
6:00pm	250	264	10.9	21.8	23.3	100	766.7	0	151
7:00pm	223	226	8.1	14.9	19.6	100	767.2	0	0
PROMEDIO	142.93	136.57	8.37	15.76	18.12	100.00	768.34	0.00	505.64

21/ABRIL/2010 ESTACION MADIN

FECHA	DIR. VIENTO	DIR. RAFAGA	RAP. VIENTO	RAP. RAFAGA	TEMP. AIRE	HUM- RELAT.	PRES. BARO M	PRECIPI TACION	RAD. SOLAR
6:00am	191	213	0	0	7.2	100	768.2	0	0
7:00am	26	213	0	0	9	100	768.7	0	100
8:00am	52	60	5.6	7.4	15.5	100	769.1	0	350
9:00am	112	85	7	12.5	20.4	100	769.1	0	590
10:00am	24	45	5.6	14.9	22.4	100	769.1	0	751
11:00am	54	39	9.8	14.9	23.4	100	768.7	0	900
12:00pm	28	45	8.4	14.3	25.2	100	768.1	0	856
1:00pm	55	64	7	14.9	26.7	100	767.3	0	998
2:00pm	51	59	8.9	13.7	27.2	100	766.1	0	978
3:00pm	64	84	9.9	18.9	28	100	765.2	0	776
4:00pm	69	87	7.3	13.7	27.8	100	764.8	0	398
5:00pm	229	283	10.5	16	27.9	26	764.7	0	399
6:00pm	24	16	9.8	17.7	26.2	34	765.1	0	128
7:00pm	37	37	5.2	12	23.5	44	765.8	0	0
PROMEDIO	72.57	95.00	6.79	12.21	22.17	86.00	767.14	0.00	516.00

F
F
F
F
F
F
F
F
F
F
F
F

21/MAYO/2010 ESTACION MADIN

FECHA	DIR. VIENTO	DIR. RAFAGA	RAP. VIENTO	RAP. RAFAGA	TEMP. AIRE	HUM- RELAT.	PRES. BARO M.	PRECIPI TACION	RAD. SOLAR
6:00am	14	35	1.8	3.9	11.7	100	770.1	0	0
7:00am	39	33	6.1	8.5	14.1	100	770.5	0	116
8:00am	42	37	5.2	6.8	18.8	100	770.8	0	320
9:00am	79	62	5.8	10.2	23.4	100	770.8	0	550
10:00am	138	109	6.3	11.4	25.5	100	770.8	0	749
11:00am	56	24	10.8	21.2	27	100	770.4	0	876
12:00pm	95	88	8.1	14.9	27.5	100	770.1	0	689
1:00pm	26	19	12.9	21.8	26.7	100	769.6	0	639
2:00pm	13	335	10.1	21.8	28	100	769	0	522
3:00pm	16	13	14.1	22.9	29.4	100	768.2	0	830
4:00pm	333	346	8.9	20	29.7	100	767.5	0	410
5:00pm	25	342	13.6	26.4	27.7	100	767.2	0	119
6:00pm	20	16	17.3	31	26.8	100	767.5	0	77
7:00pm	20	18	20.7	29.8	24.8	100	768.3	0	3
PROMEDIO	65.43	105.50	10.12	17.90	24.36	100.00	769.34	0.00	421.43

21/JUNIO/2010 ESTACION MADIN

FECHA	DIR. VIENTO	DIR. RAFAGA	RAP. VIENTO	RAP. RAFAGA	TEMP. AIRE	HUM- RELAT.	PRES. BARO M.	PRECIPI TACION	RAD. SOLAR
6:00am	16	19	0	0	11.1	100	771.3	0	2
7:00am	40	48	2.3	5.1	12.8	100	771.8	0	126
8:00am	53	33	5.5	7.9	17.4	100	771.9	0	266
9:00am	42	36	7.2	12.5	18.9	100	771.9	0	578
10:00am	22	36	6.7	14.3	21.1	100	771.7	0	783
11:00am	12	344	8.6	14.9	22.2	100	771.3	0	963
12:00pm	332	326	7.4	13.7	22.7	100	770.9	0	948
1:00pm	12	42	10.9	22.3	23.9	100	770.4	0	1024
2:00pm	2	30	10.7	18.9	25.8	100	769.6	0	545
3:00pm	161	324	4.9	10.2	25.8	100	768.8	0	137
4:00pm	27	21	9.1	15.4	24.8	100	768.3	0	242
5:00pm	20	36	8.5	13.7	23.5	100	768.1	0	110
6:00pm	24	34	25.2	47.7	22.5	100	768.1	0	102
7:00pm	28	22	19.6	33.9	17.3	100	769.8	0	2
PROMEDIO	56.50	96.50	9.04	16.46	20.70	100.00	770.28	0.00	416.29

21/JULIO/2010 ESTACION MADIN

FECHA	DIR. VIENTO	DIR. RAFAGA	RAP. VIENTO	RAP. RAFAGA	TEMP. AIRE	HUM- RELAT.	PRES. BARO M.	PRECIPI TACION	RAD. SOLAR
6:00am	264	281	5.5	7.4	13.8	100	770.5	0	0
7:00am	330	317	4.1	6.8	14.1	100	771	0	22
8:00am	350	329	3.8	7.4	16.1	100	771.3	0	163
9:00am	31	33	11.7	18.9	18.3	100	771.4	0	602
10:00am	14	34	11.4	15.4	19.3	100	771.8	0	595
11:00am	30	35	12.3	23.5	20.1	100	771.6	0	822
12:00pm	20	38	11.2	18.3	20.7	100	771.3	0	508
1:00pm	23	44	11.9	20.6	22.2	100	770.5	0	713
2:00pm	24	43	14.6	24.1	21.8	100	769.8	0	373
3:00pm	33	43	19	25.8	21.1	100	769.2	0	567
4:00pm	22	42	19.2	32.7	21.8	100	768.6	0	624
5:00pm	24	26	22.5	33.9	21.4	100	768.3	0	204
6:00pm	27	33	24.7	37.3	19.9	100	768.8	0	95
7:00pm	23	15	19.9	28.7	18.5	100	769.4	0	34
8:00pm	29	24	16.6	24.6	17.1	100	770	0	0
PROMEDIO	82.93	89.13	13.89	21.69	19.08	100.00	770.23	0.00	354.80

21/AGOSTO/2009 ESTACION MADIN

FECHA	DIR. VIENT O	DIR. RAFAG A	RAP. VIENT O	RAP. RAFAG A	TEMP. AIRE	HUM- RELA T.	PRES. BARO M.	PRECIP ITACIO N	RAD. SOLA R		
	Dir	WSMDir	WSK	WSMK	AvgTemp	AvgRh	AvgBP	Rain	AvgSR	Batt	SPanel
	deg	deg	kph	kph	C	%	mbar	mm	W/m^2	V	V
6:00am	281	324	0	0	14	100	770.2	0	-2		
7:00am	357	333	5.5	11.4	13.9	100	770.6	0	57		
8:00am	286	279	4.8	10.8	15	100	771.1	0	222		
9:00am	37	58	7.9	13.1	16.6	100	771.3	0	275	12.4	12.7
10:00am	343	354	7.2	16	19.9	100	771.5	0	742		
11:00am	26	52	10	16.6	20.6	100	771.3	0	791		
12:00pm	350	56	5.6	15.4	22.1	100	770.8	0	795	12.7	13.2
1:00pm	8	336	9.4	13.7	22.9	100	770	0	999		
2:00pm	3	328	10.5	16	24.1	100	769.2	0	936		
3:00pm	24	23	11.9	20.6	24.7	100	768.4	0	884	12.7	13.2
4:00pm	26	43	16.5	33.3	24.8	100	767.7	0	202		
5:00pm	23	66	19.1	32.1	21.8	100	767.6	0	152		
6:00pm	13	0	16.6	29.8	19.2	100	768.2	0	27	12.5	10.9
7:00pm	17	44	12.4	24.6	19.1	100	768.9	0	0		
PROMEDIO	128.14	164.00	9.81	18.10	19.91	100.00	769.77	0.00	434.29	12.58	12.50

21/SEPTIEMBRE/2009 ESTACION MADIN

FECHA	DIR. VIENT O	DIR. RAFAG A	RAP. VIENT O	RAP. RAFAG A	TEMP. AIRE	HUM- RELA T.	PRES. BARO M.	PRECIP ITACIO N	RAD. SOLA R		
6:00am	7	301	0	0	13.8	100	771.7	0	-1		
7:00am	301	326	3	7.4	14.2	100	771.7	0	28		
8:00am	46	74	3.9	7.4	15.2	100	772.2	0	142		
9:00am	49	63	3.4	7.4	17.8	100	772.7	0	350	12.5	12.8
10:00am	53	50	8.5	11.4	19.8	100	772.8	0	821		
11:00am	45	69	8.1	11.4	20.9	100	772.6	0	935		
12:00pm	342	25	7.1	13.7	23.2	100	772.2	0	972	12.7	13.1
1:00pm	20	43	7.8	12.5	22.8	100	771.5	0	679		
2:00pm	36	12	7	13.7	24	100	770.8	0	888		
3:00pm	1	28	9.6	17.7	24	100	770.1	0	767	12.7	13.1
4:00pm	47	46	7.4	16	24.8	100	769.4	0	572		
5:00pm	18	356	10.3	17.2	25.2	100	769.2	0	405		
6:00pm	21	33	13.2	21.2	20.3	100	769.5	0	24	12.5	9.5
7:00pm	283	250	3.2	7.4	18.9	100	769.9	0	-2		
PROMED IO	90.64	119.71	6.61	11.74	20.35	100.00	771.16	0.00	470.00		

21/OCTUBRE/2009 ESTACION MADIN

FECHA	DIR. VIENT O	DIR. RAFAG A	RAP. VIENT O	RAP. RAFAG A	TEMP. AIRE	HUM- RELA T.	PRES. BARO M.	PRECIP ITACIO N	RAD. SOLA R		
6:00am	268	275	0	0	8.4	100	768	0	-3	12.3	0.5
7:00am	41	200	2	5.6	8.4	100	768.2	0	37		
8:00am	55	32	1.7	5.1	15	100	768.4	0	323		
9:00am	102	111	5.9	10.8	18.5	100	768.5	0	454	12.6	13
10:00am	125	120	6.1	10.2	21	100	768.3	0	696		
11:00am	127	144	6.8	11.4	22.8	100	768	0	774		
12:00pm	26	52	9.2	15.4	24.3	100	767.1	0	896	12.8	13.3
1:00pm	18	28	9.4	12.5	24.7	100	766.2	0	798		
2:00pm	10	22	10.3	16.6	25.7	100	765.4	0	654		
3:00pm	254	262	10.4	18.3	25.7	100	765.1	0	602	12.8	13.2
4:00pm	252	261	11.2	16	25.3	100	764.9	0	441		
5:00pm	240	255	12.3	20.6	23.3	100	765.3	0	200		
6:00pm	339	241	7.2	18.3	19.4	100	766.3	0	10	12.5	7
7:00pm	267	213	2.9	7.4	17.8	100	766.7	0	-5		
PROMED	151.71	158.29	6.81		20.02	100.00	766.89	0.00	419.79		

21/NOVIEMBRE/2009 ESTACION MADIN

FECHA	DIR. VIENT O	DIR. RAFAG A	RAP. VIENT O	RAP. RAFAG A	TEMP. AIRE	HUM- RELA T.	PRES. BARO M.	PRECIP ITACIO N	RAD. SOLA R		
6:00am	287	277	4.1	6.2	9.6	100	768.6	0	-2	12.4	0.3
7:00am	283	275	4.3	6.8	10.2	100	768.8	0	5		
8:00am	39	37	4.6	6.8	11.1	100	769.5	0	45		
9:00am	80	121	5	7.9	13	100	769.5	0	211	12.4	12.8
10:00am	34	60	6.1	8.5	14.6	100	769.5	0	344		
11:00am	54	60	7.4	13.1	16.9	100	769.2	0	720		
12:00pm	67	36	5.5	12.5	19.6	100	768.3	0	767	12.9	16.2
1:00pm	53	46	7.9	10.2	20.4	100	767.5	0	714		
2:00pm	347	8	4.7	9.7	21.2	100	766.8	0	540		
3:00pm	119	267	6.2	9.1	21.9	100	766.4	0	236	12.8	13.1
4:00pm	31	29	12	20	22.3	100	766.2	0	357		
5:00pm	356	342	0	0	20.5	100	766.3	0	93		
6:00pm	326	340	2.9	9.1	18.6	100	766.9	0	-1	12.5	2.7
7:00pm	18	3	1.9	4.5	16.2	100	767.6	0	-5		
PROMEDI	149.57	135.79	5.19	8.89	16.86	100.00	767.94	0.00	287.43		

21/DICIEMBRE/2009 ESTACION MADIN

FECHA	DIR. VIENT O	DIR. RAFAG A	RAP. VIENT O	RAP. RAFAG A	TEMP. AIRE	HUM- RELA T.	PRES. BARO M.	PRECIP ITACIO N	RAD. SOLA R		
6:00am	324	289	4.3	9.7	4	100	771.7	0	-3	12.3	0.3
7:00am	40	53	2.4	5.1	4.5	100	772.2	0	-1		
8:00am	354	340	5.1	8.5	6	100	772.5	0	52		
9:00am	59	78	3.9	9.7	7.5	100	773	0	131	12.4	12.7
10:00am	86	86	4.7	9.1	9.3	100	773.1	0	405		
11:00am	136	62	5.6	10.2	12.6	100	772.7	0	670		
12:00pm	78	69	7.6	12.5	14.7	100	771.9	0	793	13	13.5
1:00pm	69	100	4.6	7.4	16.5	100	770.6	0	769		
2:00pm	67	35	6.7	12	16.5	100	769.6	0	689		
3:00pm	28	30	7.2	11.4	17	100	768.8	0	546	12.9	13.3
4:00pm	25	33	5.9	11.4	17.4	100	768.7	0	273	10:00 p.m	25
5:00pm	17	31	6.1	7.4	16.6	100	768.6	0	145		
6:00pm	28	31	5.8	11.4	13.5	100	768.7	0	4	12.5	5.7
7:00pm	261	260	10.6	13.1	10.9	100	769.3	0	-4		
PROMEDI	112.29	106.93	5.75	9.92	11.93	100.00	770.81	0.00	319.21		

RADIACION SOLAR 2009, NORMALES CLIMATOLOGICAS ESTACION MADIN

FECHA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROME DIO
6:00am	0	0	0	0	0	2	0	-2	-1	-3	-2	-3	-1
7:00am	0	0	14	100	116	126	22	57	28	37	5	-1	42
8:00am	132	67	255	350	320	266	163	222	142	323	45	52	195
9:00am	367	134	511	590	550	578	602	275	350	454	211	131	396
10:00am	574	224	718	751	749	783	595	742	821	696	344	405	617
11:00am	732	287	882	900	876	963	822	791	935	774	720	670	779
12:00pm	840	332	960	856	689	948	508	795	972	896	767	793	780
1:00pm	859	250	1029	998	639	1024	713	999	679	798	714	769	789
2:00pm	847	256	895	978	522	545	373	936	888	654	540	689	677
3:00pm	706	284	744	776	830	137	567	884	767	602	236	546	590
4:00pm	535	647	526	398	410	242	624	202	572	441	357	273	436
5:00pm	289	382	394	399	119	110	204	152	405	200	93	145	241
6:00pm	14	111	151	128	77	102	95	27	24	10	-1	4	62
7:00pm	0	0	0	0	3	2	34	0	-2	-5	-5	-4	2
PROME DIO	421	212	506	516	421	416	380	434	470	420	287	319	400

TEMPERATURA DEL AIRE DE AGO-DIC 2009; ENE-JUL 2010, NORMALES CLIMATOLOGICAS ESTACION MADIN

FECHA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROME DIO
6:00am	0.4	8.5	4.6	7.2	11.7	11.1	13.8	14	13.8	8.4	9.6	4	9
7:00am	1.6	7.4	3.9	9	14.1	12.8	14.1	13.9	14.2	8.4	10.2	4.5	10
8:00am	5	9.1	9.7	15.5	18.8	17.4	16.1	15	15.2	15	11.1	6	13
9:00am	14.1	12.8	15.1	20.4	23.4	18.9	18.3	16.6	17.8	18.5	13	7.5	16
10:00am	17.1	13	16.8	22.4	25.5	21.1	19.3	19.9	19.8	21	14.6	9.3	18
11:00am	19	15.7	19.2	23.4	27	22.2	20.1	20.6	20.9	22.8	16.9	12.6	20
12:00pm	21.9	17.3	21.3	25.2	27.5	22.7	20.7	22.1	23.2	24.3	19.6	14.7	22
1:00pm	23.4	19	23	26.7	26.7	23.9	22.2	22.9	22.8	24.7	20.4	16.5	23
2:00pm	23.5	20.1	23.8	27.2	28	25.8	21.8	24.1	24	25.7	21.2	16.5	23
3:00pm	24.4	21.6	24.8	28	29.4	25.8	21.1	24.7	24	25.7	21.9	17	24
4:00pm	24.7	22.3	24	27.8	29.7	24.8	21.8	24.8	24.8	25.3	22.3	17.4	24
5:00pm	24.4	22.5	24.6	27.9	27.7	23.5	21.4	21.8	25.2	23.3	20.5	16.6	23
6:00pm	20.1	20.5	23.3	26.2	26.8	22.5	19.9	19.2	20.3	19.4	18.6	13.5	21
7:00pm	17.2	16.7	19.6	23.5	24.8	17.3	18.5	19.1	18.9	17.8	16.2	10.9	18
PROME DIO	17	16	18	22	24	21	19	20	20	20	17	12	19

**TEMPERATURA DEL AIRE DE AGO-DIC 2009; ENE-JUL 2010, NORMALES
CLIMATOLOGICAS ESTACION MADIN - I**

FECHA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROME DIO
6:00am	0.4	8.5	4.6	7.2	11.7	11.1	13.8	14	13.8	8.4	9.6	4	9
7:00am	1.6	7.4	3.9	9	14.1	12.8	14.1	13.9	14.2	8.4	10.2	4.5	10
8:00am	5	9.1	9.7	15.5	18.8	17.4	16.1	15	15.2	15	11.1	6	13
9:00am	14.1	12.8	15.1	20.4	23.4	18.9	18.3	16.6	17.8	18.5	13	7.5	16
10:00am	17.1	13	16.8	22.4	25.5	21.1	19.3	19.9	19.8	21	14.6	9.3	18
11:00am	19	15.7	19.2	23.4	27	22.2	20.1	20.6	20.9	22.8	16.9	12.6	20
12:00pm	21.9	17.3	21.3	25.2	27.5	22.7	20.7	22.1	23.2	24.3	19.6	14.7	22
1:00pm	23.4	19	23	26.7	26.7	23.9	22.2	22.9	22.8	24.7	20.4	16.5	23
2:00pm	23.5	20.1	23.8	27.2	28	25.8	21.8	24.1	24	25.7	21.2	16.5	23
3:00pm	24.4	21.6	24.8	28	29.4	25.8	21.1	24.7	24	25.7	21.9	17	24
4:00pm	24.7	22.3	24	27.8	29.7	24.8	21.8	24.8	24.8	25.3	22.3	17.4	24
5:00pm	24.4	22.5	24.6	27.9	27.7	23.5	21.4	21.8	25.2	23.3	20.5	16.6	23
6:00pm	20.1	20.5	23.3	26.2	26.8	22.5	19.9	19.2	20.3	19.4	18.6	13.5	21
7:00pm	17.2	16.7	19.6	23.5	24.8	17.3	18.5	19.1	18.9	17.8	16.2	10.9	18
PROM MADIN	17	16	18	22	24	21	19	20	20	20	17	12	19

14/ABRIL/2010 ESTACION MADIN-I-I

FECHA	DIR. VIENT O	DIR. RAFAGA	RAP. VIENTO	RAP. RAFAGA	TEMP. AIRE	HUM- RELAT.	PRES. BARO M	PRECIPI TACION	RAD. SOLAR
6:00am	346	354	3.1	5.6	6.9	100	768.8	0	0
7:00am	7	38	0	0	8.4	100	769.3	0	59
8:00am	55	62	6	8.5	14.6	100	769.8	0	242
9:00am	47	58	5.4	9.7	17.3	100	769.9	0	571
10:00am	73	62	7.2	15.4	18.4	100	769.8	0	731
11:00am	24	37	8.2	15.4	19.6	100	769.4	0	913
12:00pm	26	42	10	20.6	20.9	100	768.8	0	735
1:00pm	39	39	10.9	18.9	21.4	100	768.2	0	446
2:00pm	42	47	9.2	14.3	22.3	100	767.4	0	676
3:00pm	122	338	7.2	12	24.2	100	766.7	0	328
4:00pm	98	174	9.1	21.2	23.6	100	766.2	0	403
5:00pm	103	145	8.4	16	22.9	100	766	0	174
6:00pm	204	220	5.8	10.2	21.3	100	766	0	47
7:00pm	185	198	8.1	10.8	20.5	100	766.4	0	0
PROMEDI	97.93	129.57	7.04	12.76	18.74	100.00	768.05	0.00	380.36

9/ABRIL/2010 ESTACION MADIN-I

FECHA	DIR. VIENT	DIR. RAFAGA	RAP. VIENTO	RAP. RAFAGA	TEMP. AIRE	HUM- RELAT.	PRES. BARO	PRECIPI TACION	RAD. SOLAR
6:00am									0
7:00am	27	19	3.5	5.1	8.6	100	770.8	0	61
8:00am	64	56	0	0	13	100	771.4	0	273
9:00am	90	56	0	0	18.3	100	771.8	0	533
10:00am	107	122	5.5	9.7	20	100	771.6	0	732
11:00am	65	32	9.5	17.2	22.3	100	771.1	0	909
12:00pm	49	39	10.3	18.9	23.9	100	770.4	0	1023
1:00pm	162	178	6.8	13.7	24.6	100	769.4	0	455
2:00pm	203	215	9.4	14.9	21.2	100	769	0	196
3:00pm	252	247	6.1	8.5	20.1	100	768.5	0	101
4:00pm	212	231	14.8	19.5	21.3	100	767.7	0	187
5:00pm	196	215	6.6	8.5	22	100	767.7	0	79
6:00pm	278	276	5.3	7.9	20.4	100	768.4	0	13
7:00pm	306	258	5.5	7.4	18.5	100	768.9	0	0
PROMEDI	154.69	149.54	6.41	10.10	19.55	100.00	769.75	0.00	325.86

Tiempos de caída (segundos)

FECHA	PREC IPIT	DIRR AFA	DIRVI ENTO	HUMREL ATIVA	PRESBARO METRIC	RADS OLAR	RAPRA FAGA	RAPVI ENTO	TEMP AIRE
3/21/08	0	55	233	100	771.5	0	0	0	4.5
3/21/08	0	55	226	100	771.6	14	0	0	4
3/21/08	0	64	75	92	772	237	6.2	4.1	10.1
3/21/08	0	116	121	78	772.2	484	9.1	6.6	15.4
3/21/08	0	59	93	60	772.3	698	16	7.5	17.5
3/21/08	0	76	73	45	771.9	847	15.4	7.6	19.8
3/21/08	0	45	93	36	771.5	933	20.6	10.5	21.6
3/21/08	0	52	34	33	770.5	966	23.5	12.8	22.4
3/21/08	0	37	38	29	769.6	905	23.5	12.1	23.2
3/21/08	0	56	44	26	768.7	353	13.7	7.1	23.1
3/21/08	0	36	42	24	768	497	19.5	7	24.5
3/21/08	0	44	34	25	767.5	361	25.8	13.6	23.1
3/22/08	0	19	21	26	767.7	44	14.9	8.3	22
3/22/08	0	57	18	28	768.2	0	11.4	5.8	19.9

FECHA		PREC IPIT	DIRR AFA	DIRVI ENTO	HUMREL ATIVA	PRESBARO METRIC	RADS OLAR	RAPRA FAGA	RAPVI ENTO	TEMP AIRE

12/ABRIL/2010 ESTACION MADIN-I-I

FECHA	DIR. VIENTO	DIR. RAFAGA	RAP. VIENTO	RAP. RAFAGA	TEMP. AIRE	HUM- RELAT.	PRES. BAROM	PRECIPI TACION	RAD. SOLAR
6:00am	4	14	0	0	10.8	100	769.7	0	0
7:00am	1	14	0	0	10.6	100	770	0	39
8:00am	32	32	6.9	9.7	16.4	100	770	0	315
9:00am	175	169	5.8	12	19.8	100	770.1	0	566
10:00am	64	70	9.4	19.5	21.6	100	769.6	0	751
11:00am	63	39	9.9	17.7	21.4	100	768.9	0	790
12:00pm	24	27	4.3	7.9	19	100	768.5	0	835
1:00pm	17	29	12	22.9	21	100	767.9	0	989
2:00pm	80	30	12.1	22.9	22.3	100	767.3	0	873
3:00pm	166	206	9.7	18.3	22.2	100	766.3	0	490
4:00pm	190	137	7.5	16	21.9	100	765.6	0	438
5:00pm	172	199	9.2	13.1	22.9	100	765.1	0	350
6:00pm	22	26	19.9	29.8	19.5	100	765.9	0	73
7:00pm	20	30	25.8	35	15.4	100	767.7	0	0
PROMEDIO	73.57	73.00	9.46	16.06	18.91	100.00	768.04	0.00	464.93